

# Entwurf und Auslegung eines neuen nichtlinearen Antriebskonzeptes mittels Creo™ Elements/Pro™

Referent: Dipl.-Ing. D. Denninger

Co-Autoren: Prof. Dr.-Ing. M. Berger, Dipl.-Ing. Andreas Heine

Technische Universität Chemnitz  
Institut für Fertigungstechnik / Schweißtechnik  
Professur Montage- und Handhabungstechnik  
Technische Universität Chemnitz  
09107 Chemnitz



[www.tu-chemnitz.de/mb/MHT](http://www.tu-chemnitz.de/mb/MHT)

[www.mocad.info](http://www.mocad.info)

#### Agenda

1. Einleitung – Rundflechten
2. Schritte der Getriebeauslegung
3. Manipulation von Bewegungsverläufen mittels  
Vorschaltgetriebe
4. Integrierte FEM-Analyse einzelner Bauteile
5. Zusammenfassung und Ausblick



Mathcad<sup>®</sup>15.0

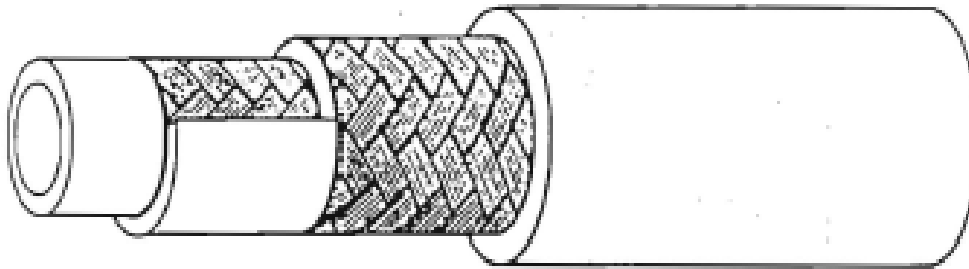
creo<sup>™</sup> elements/pro<sup>™</sup>

### 3. Anwendertreffen SAXSIM

#### Einleitung – Rundflechten

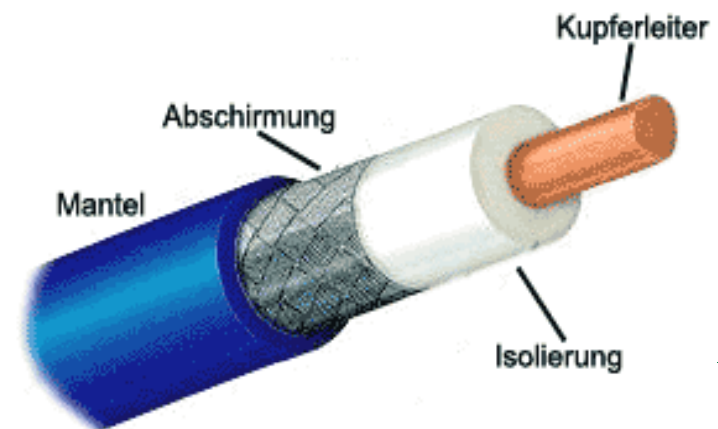
#### Flechtprodukte einer Rundflechtmaschine

##### Schlauch und Kabelarmierung – Flechten



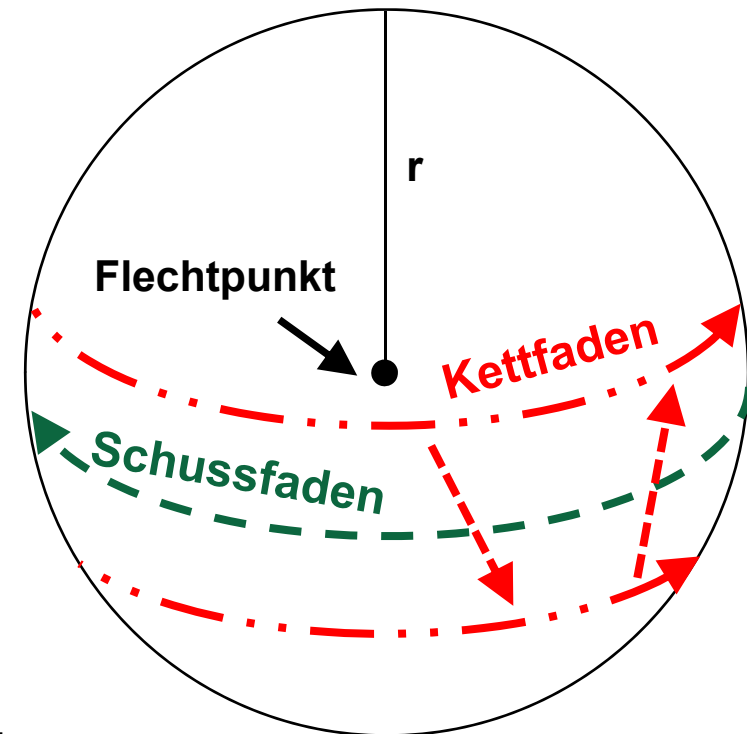
- für Schläuche mit Textil und Stahlgeflecht für Nieder- und Hochdruckschläuche
- für Kabel mit Cu – Textil – und Stahlgeflecht, als Außenleiter ( Koaxial ) und zur Verstärkung

##### Cinch - Kabel



### Schnellflechtmaschinen System „Horn“

- Flechtvorgang in **gedachter Hohlkugel**
- Mittelpunkt der Kugel ist der **Flechtpunkt**
- Spulenträger (Fadenspeicher) kreisen auf einem **Breitengrad auf der Kugeloberfläche** um den Flechtpunkt
- jeder Faden hat somit vom Spulenträger bis zum Flechtpunkt die **gleiche Länge** (Kugelradius)
- dadurch stellt sich ein kontinuierlicher und **gleichmäßiger Fadenablauf** ein (Geflechtsqualität)
- beim Flechtvorgang laufen die Schussfäden in entgegengesetzter Richtung der Kettfäden
- die Schussfäden bewegen sich auf einem Breitengrad, während die Kettfäden von einem höher gelegenen zu einem tiefer gelegenen Breitengrad um den Schussfaden-Breitengrad auf – und abspringen ( Kreuzung der Fäden um Geflecht entstehen zu lassen )

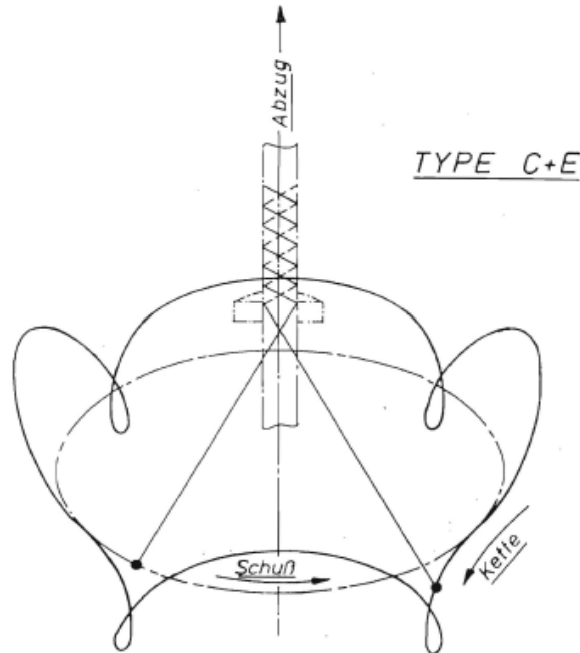


### 3. Anwendertreffen SAXSIM

#### Einleitung – Rundflechten

#### Prinzip der Rundflechtmaschinen

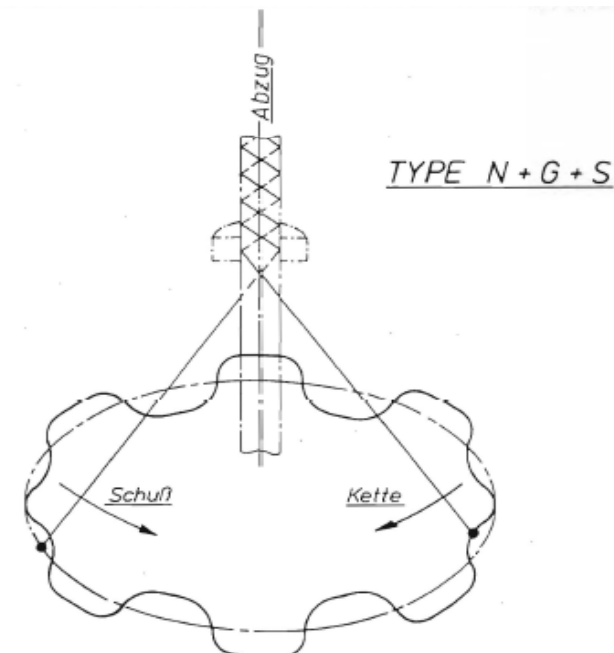
##### Umlaufradflechtmaschine



Spulenumlauf = Rotordrehzahl  
Ein **Umlaufzahnrad** führt den Faden der unteren Spulenträger über die oberen.  
Der Kurvenverlauf entspricht einer Zykloide.

Bindungen: 1 über 1, 1 über 2, 1 über 3

##### Hebelflechtmaschine



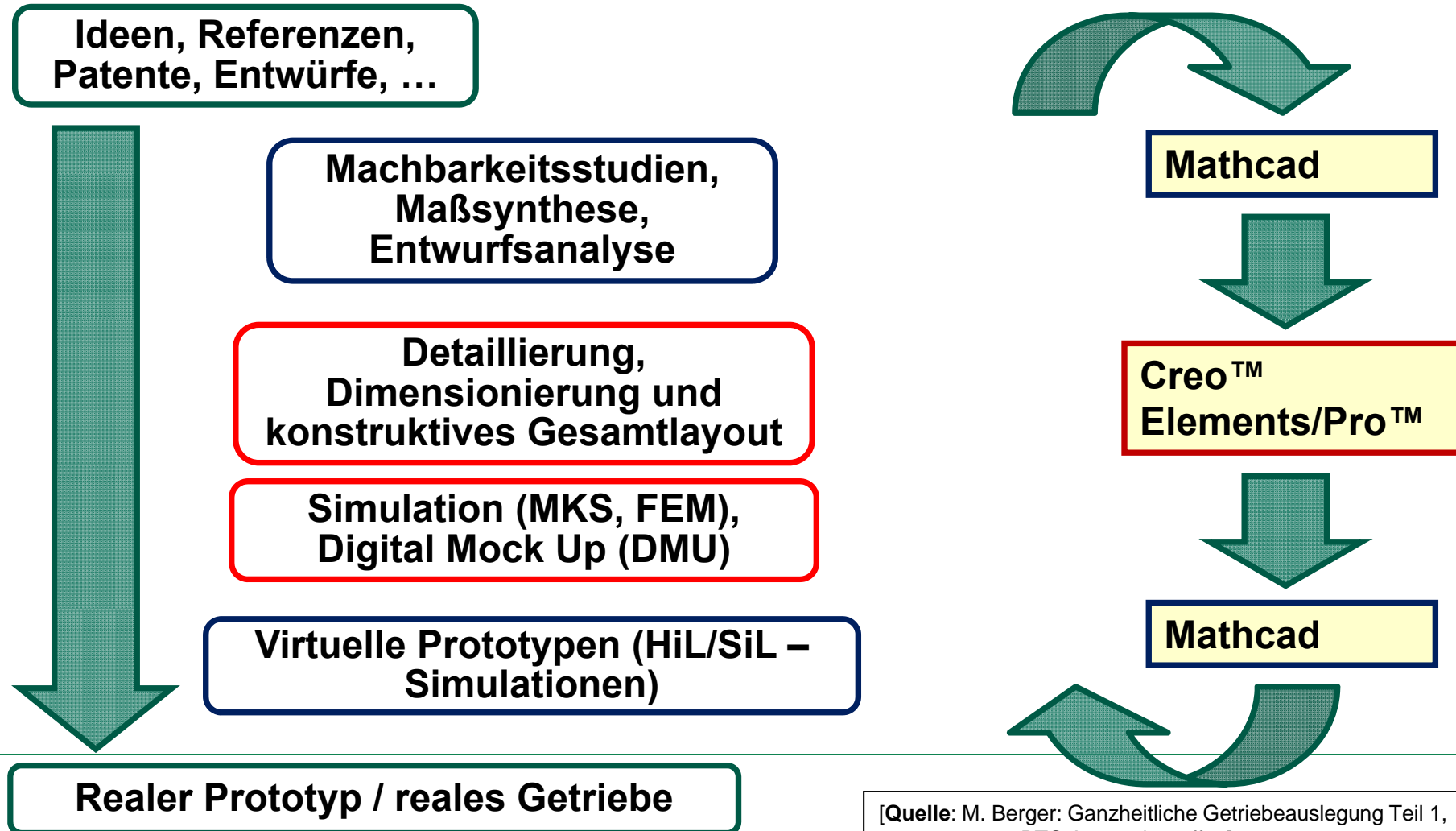
Spulenumlauf = Rotordrehzahl  
Eine **feststehende Kurvenbahn** führt den Faden der unteren Spulenträger über die oberen.  
Der Kurvenverlauf entspricht einer Sinuskurve.

Bindung: 2 über 2

### 3. Anwendertreffen SAXSIM

#### Schritte der Getriebeauslegung

#### Ganzheitliche Getriebeauslegung

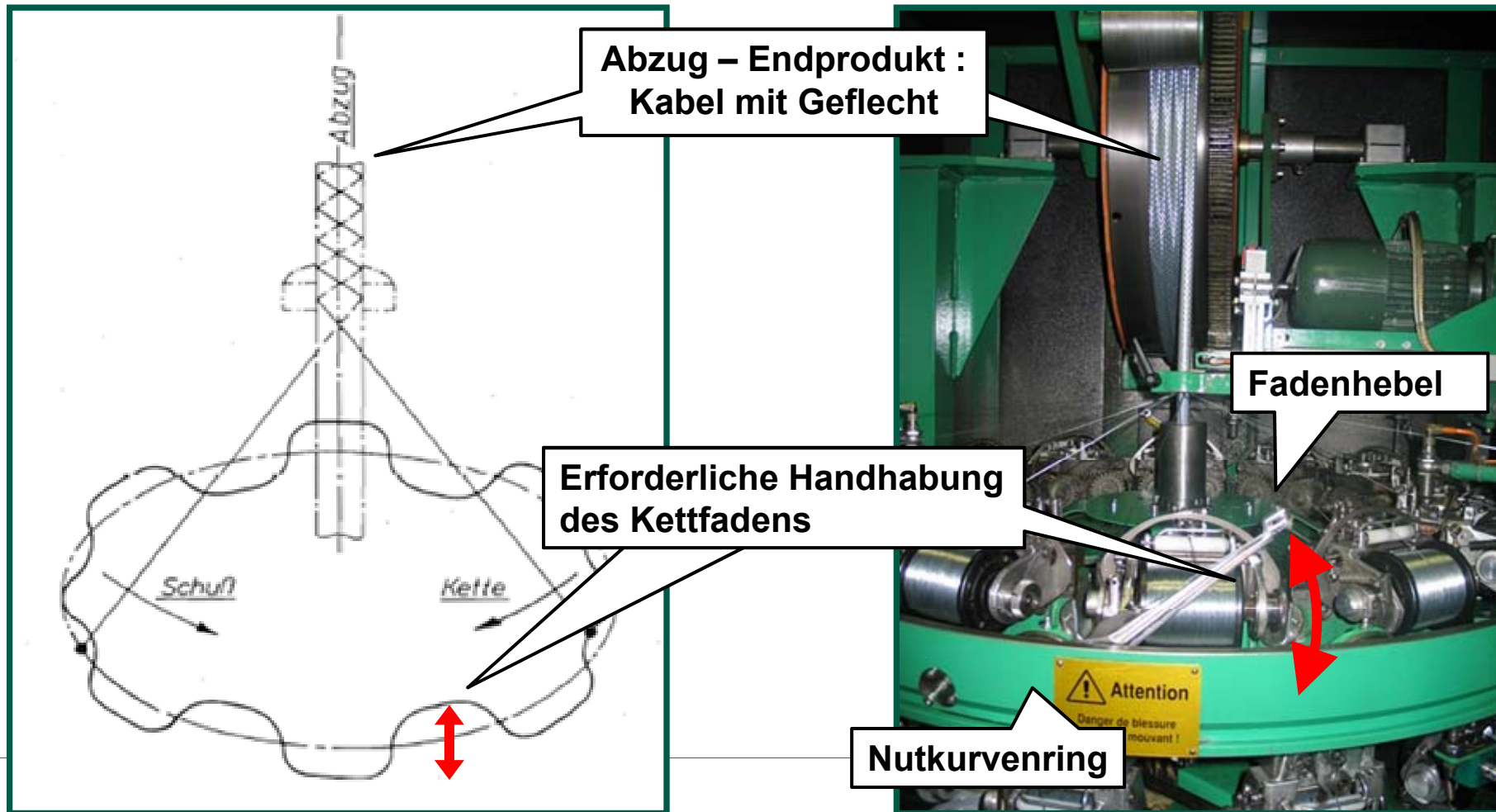


[Quelle: M. Berger: Ganzheitliche Getriebeauslegung Teil 1, 2008, PTC Anwendertreffen]

### 3. Anwendertreffen SAXSIM

#### Schritte der Getriebeauslegung

#### Problembeschreibung - Hebelflechtmaschine



[Quelle: Fa. Lapp Kabel]



### 3. Anwendertreffen SAXSIM

#### Schritte der Getriebeauslegung

#### Strukturauswahl

Bewegungs- übertragung	Übertragungs- funktion	Form der Abtriebsbewegung (Beispiele)	
		Drehen	Schieben
	$s, \psi$		
		Schubkurbel	
		Koppelgetriebe	
		Kurvengetriebe	

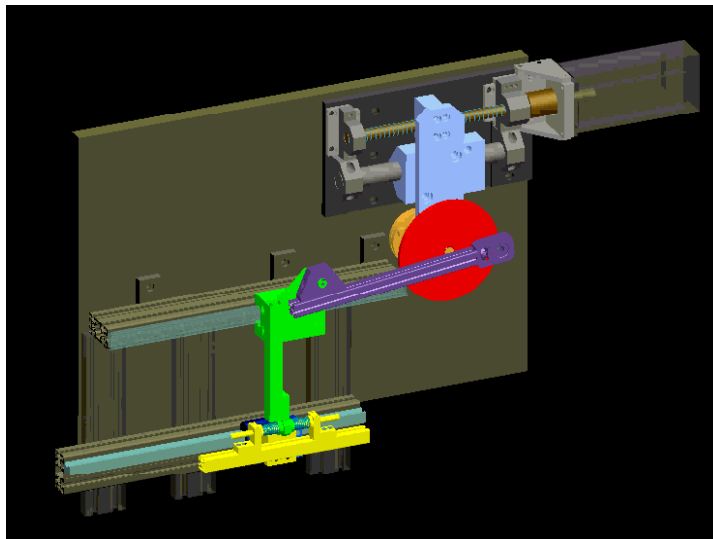


### 3. Anwendertreffen SAXSIM

#### Schritte der Getriebeauslegung

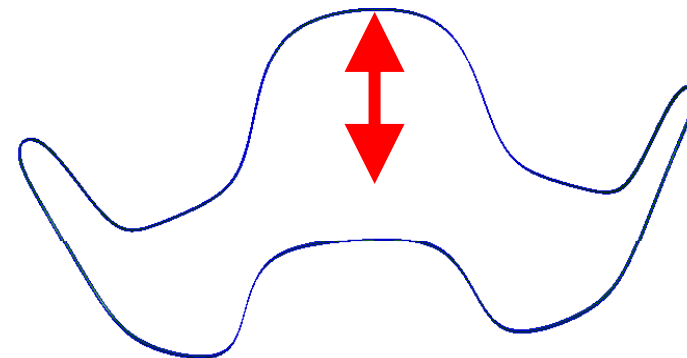
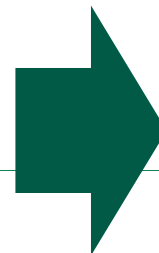
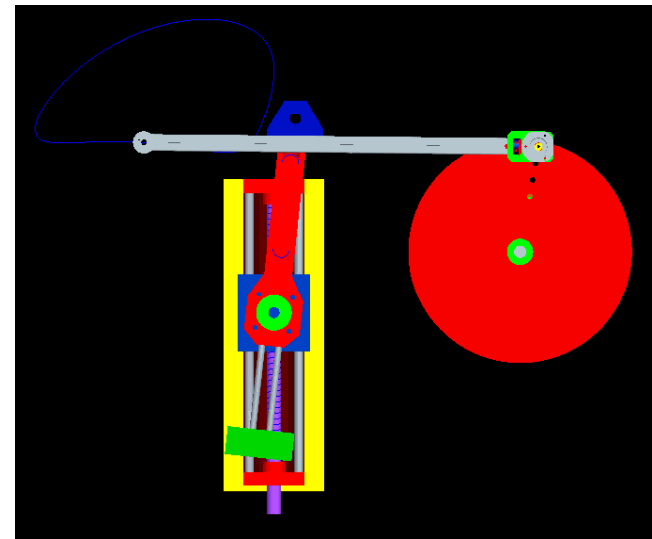
#### Bewegungsaufgabe

##### Übertragungsgetriebe (ÜG)



Hub / Fadenlegerweg

##### (Punkt-) Führungsgetriebe (FG)

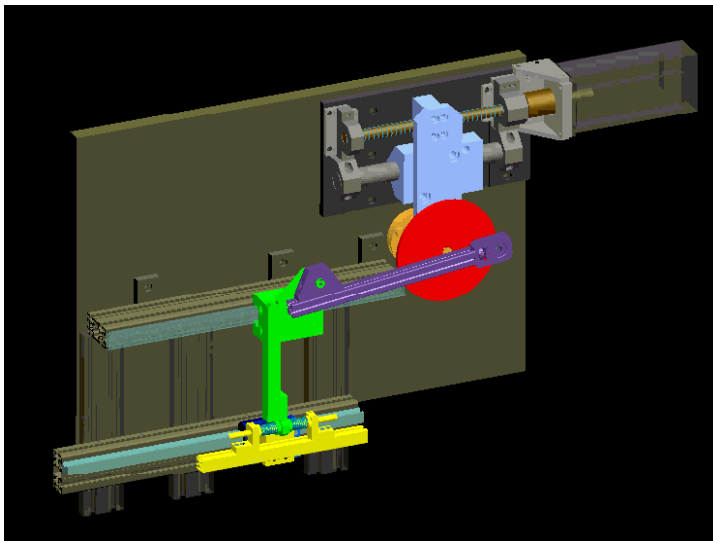


### 3. Anwendertreffen SAXSIM

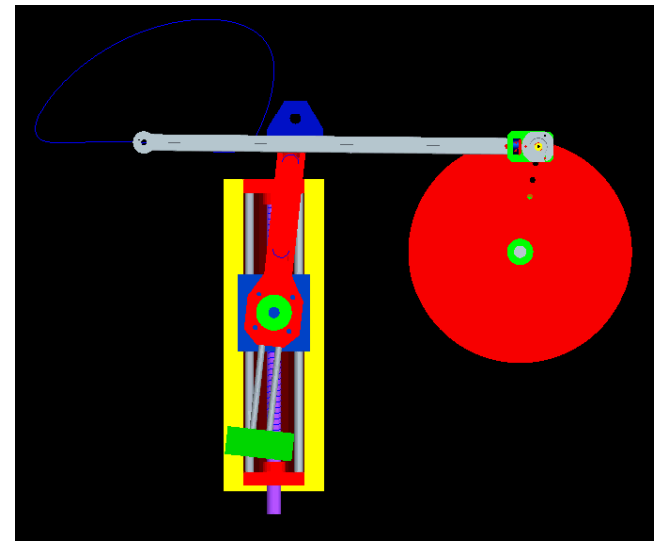
#### Schritte der Getriebeauslegung

#### Bewegungsaufgabe

##### Übertragungsgetriebe (ÜG)



##### (Punkt-) Führungsgetriebe (FG)



##### Verlegekurve des Kettfadens:

- **Führungsbahn** des Kettfadens
- Verlegepunkt einer Getriebestruktur beschreibt die Bahn beim Verlegen
- Berücksichtigung der vorherrschenden geometrischen Randbedingungen
- Überlagerung von Rotation und Translation
- Nötige Rotation über den Rotor der Kettfadenkonstruktion
- Erforderliche Translation durch Getriebestruktur auf dem Rotor

### 3. Anwendertreffen SAXSIM

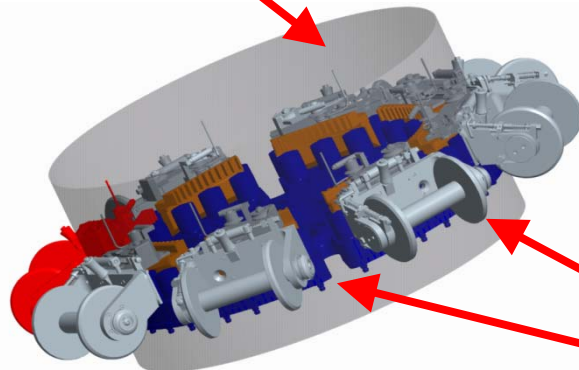
#### Schritte der Getriebeauslegung

#### Bewegungsaufgabe

Pro/Engineer:

- **Vereinfachtes Modell** mit geom. Randbedingungen
- Zylindrische Anordnung
- Servomotor für **Rotation**
- Servomotor für **Translation**
- **Spurkurve** zur Visualisierung/  
Auswertung

Skizzenteil

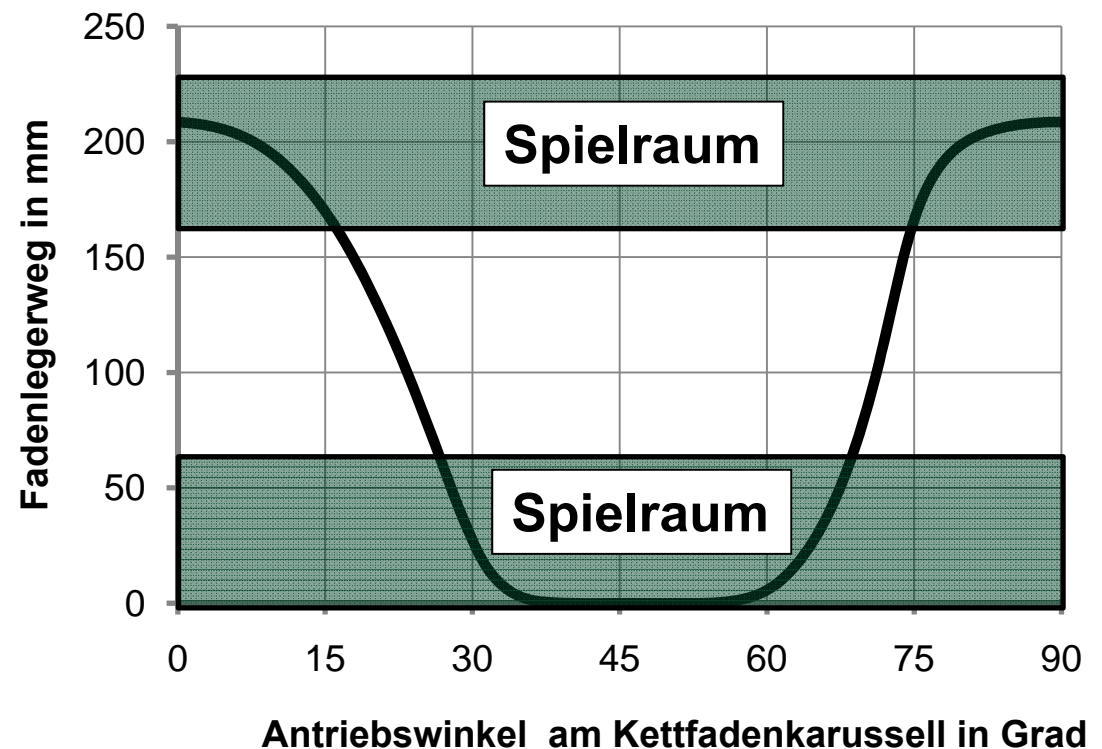


Segmente mit Spulenträgern

Schussfadenplatte

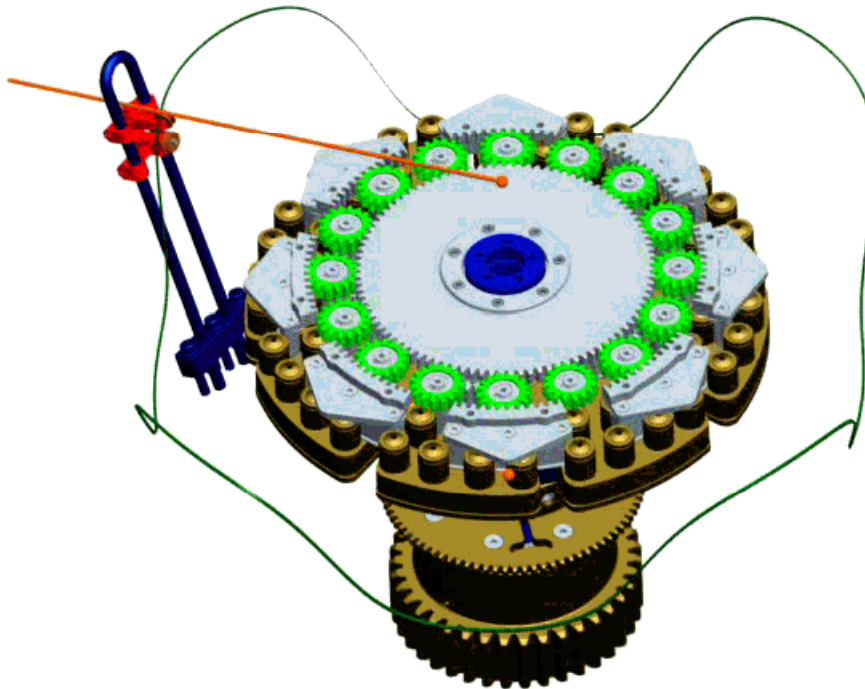
#### Übertragungsfunktion 0. Ordnung

Nutkurvengetriebe



### 3. Anwendertreffen SAXSIM

#### Schritte der Getriebeauslegung

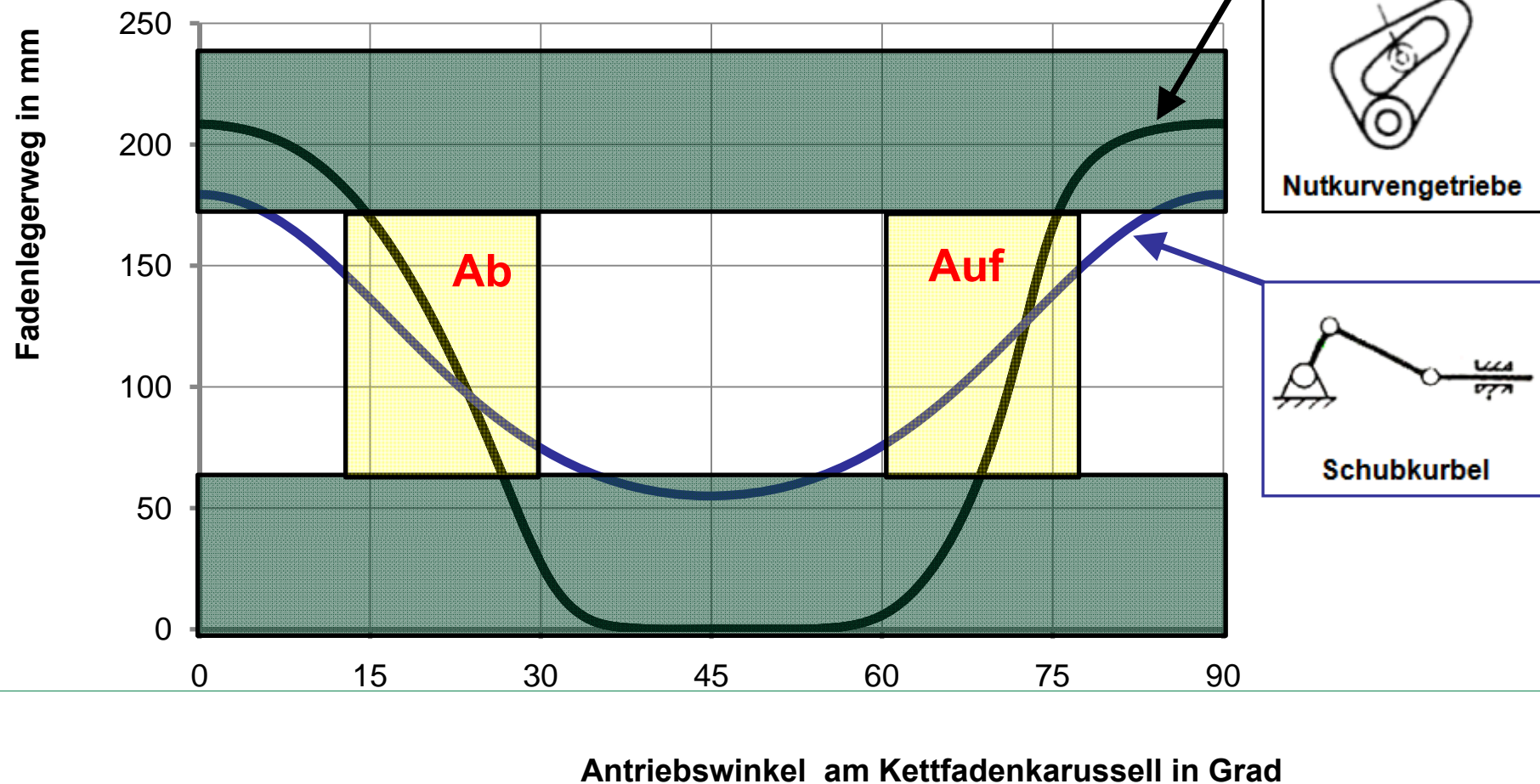


### 3. Anwendertreffen SAXSIM

#### Schritte der Getriebeauslegung

#### Fadenlegerweg mit zentrischer Schubkurbel

Übertragungsfunktion 0. Ordnung  
Nutkurvengetriebe / Schubkurbel



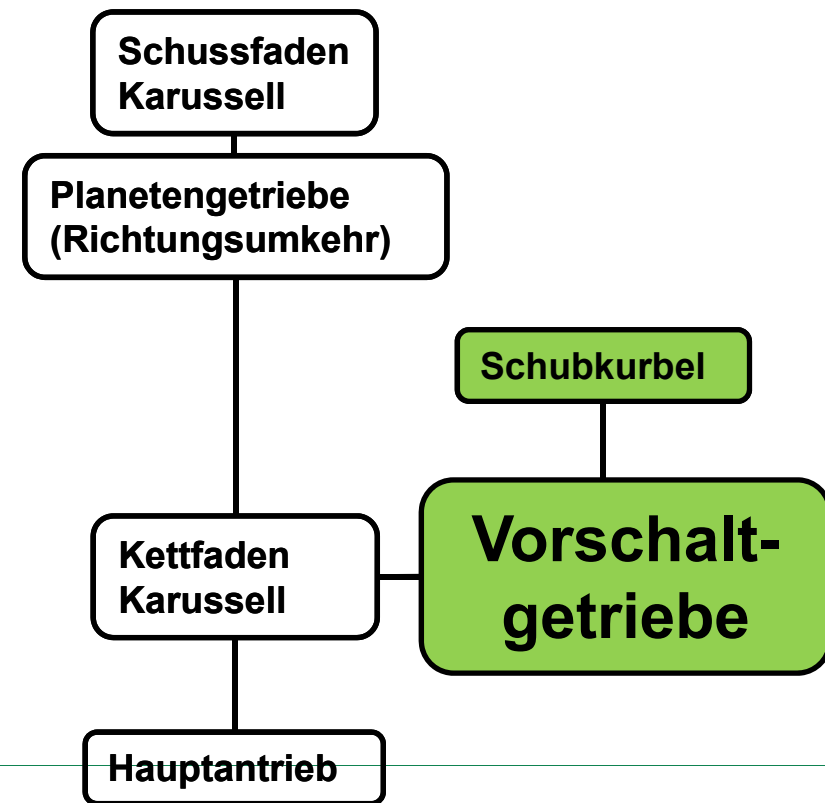
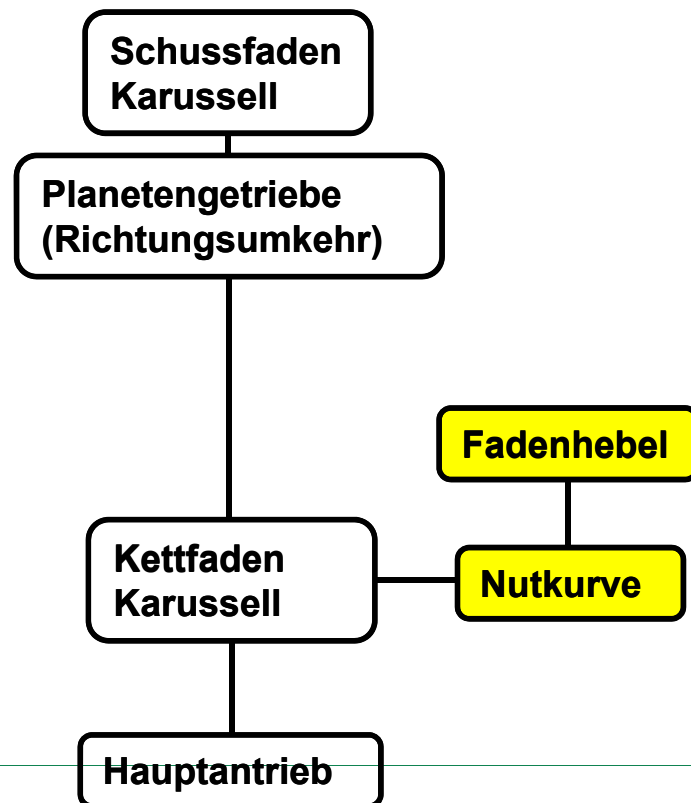
### 3. Anwendertreffen SAXSIM

#### Elliptisches Zahnradpaar als Vorschaltgetriebe

#### Antriebsschema

Hebelflechtmaschine Type N + G + S

Entwicklung



### 3. Anwendertreffen SAXSIM

#### Elliptisches Zahnradpaar als Vorschaltgetriebe

#### Erzeugen eines nichtlinearen Bewegungsverlaufes

##### Vorschaltgetriebe

- Übertragungsfunktion 0. Ordnung mit Schubkurbel näherungsweise nachgebildet
- Anpassen des Bahnverlaufes an **spezielle geometrische Randbedingungen**
- **mathematisch definierte Optimierung** der Antriebslösung „Schubkurbel“ mithilfe eines **Vorschaltgetriebes**
- Kurbel mit **nichtlinearer Bewegungsfunktion** antreiben
- 90 Grad Antriebswinkel am Kettfadenkarussell entsprechen 360 Grad Antriebswinkel an der Kurbel
- Erforderlich sind zwei **Bereiche erhöhter Geschwindigkeit**, jeweils bei der auf- und ab Bewegung der Verlegeeinheit
- Gesucht ist eine **fortlaufende, ungleichmäßige Abtriebsbewegung** des Vorschaltgetriebes zum Antrieb der Kurbel

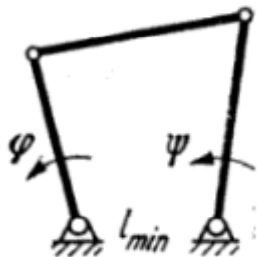


### 3. Anwendertreffen SAXSIM

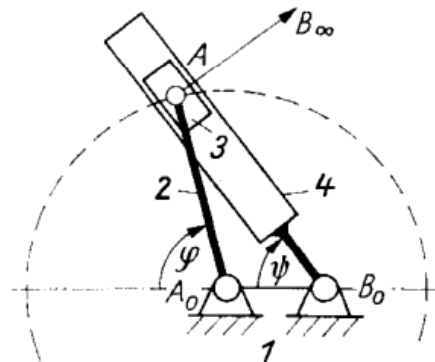
#### Elliptisches Zahnradpaar als Vorschaltgetriebe

#### Strukturauswahl des Vorschaltgetriebes

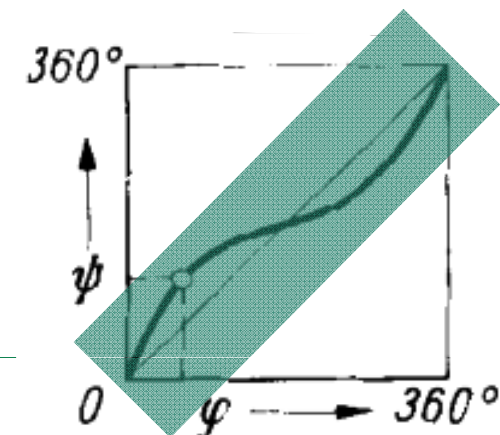
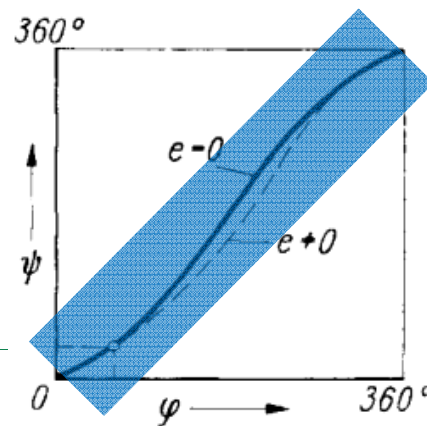
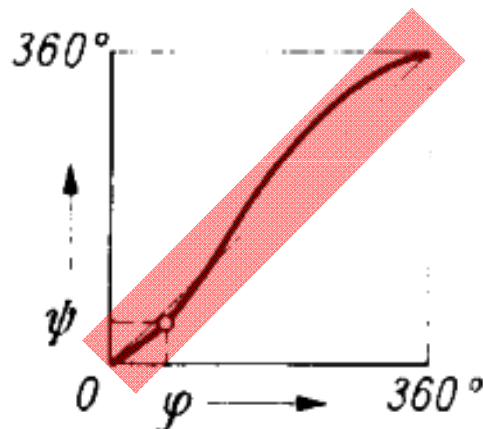
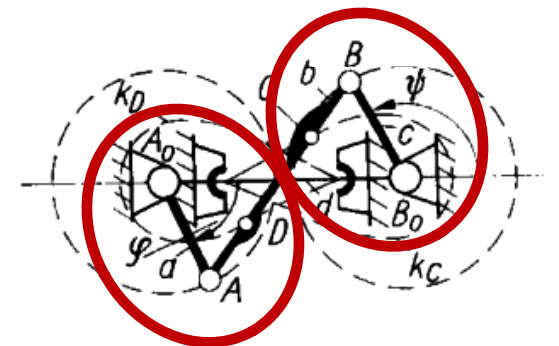
Doppelkurbel



Umlaufende Kurbelschleife



Antiparallelkurbel

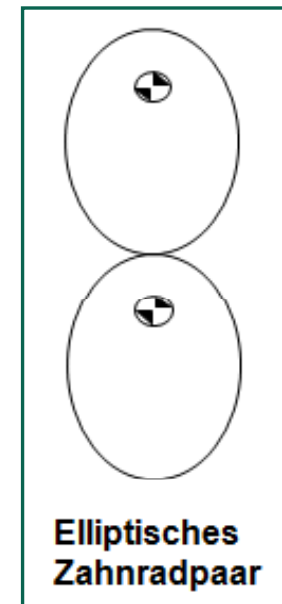
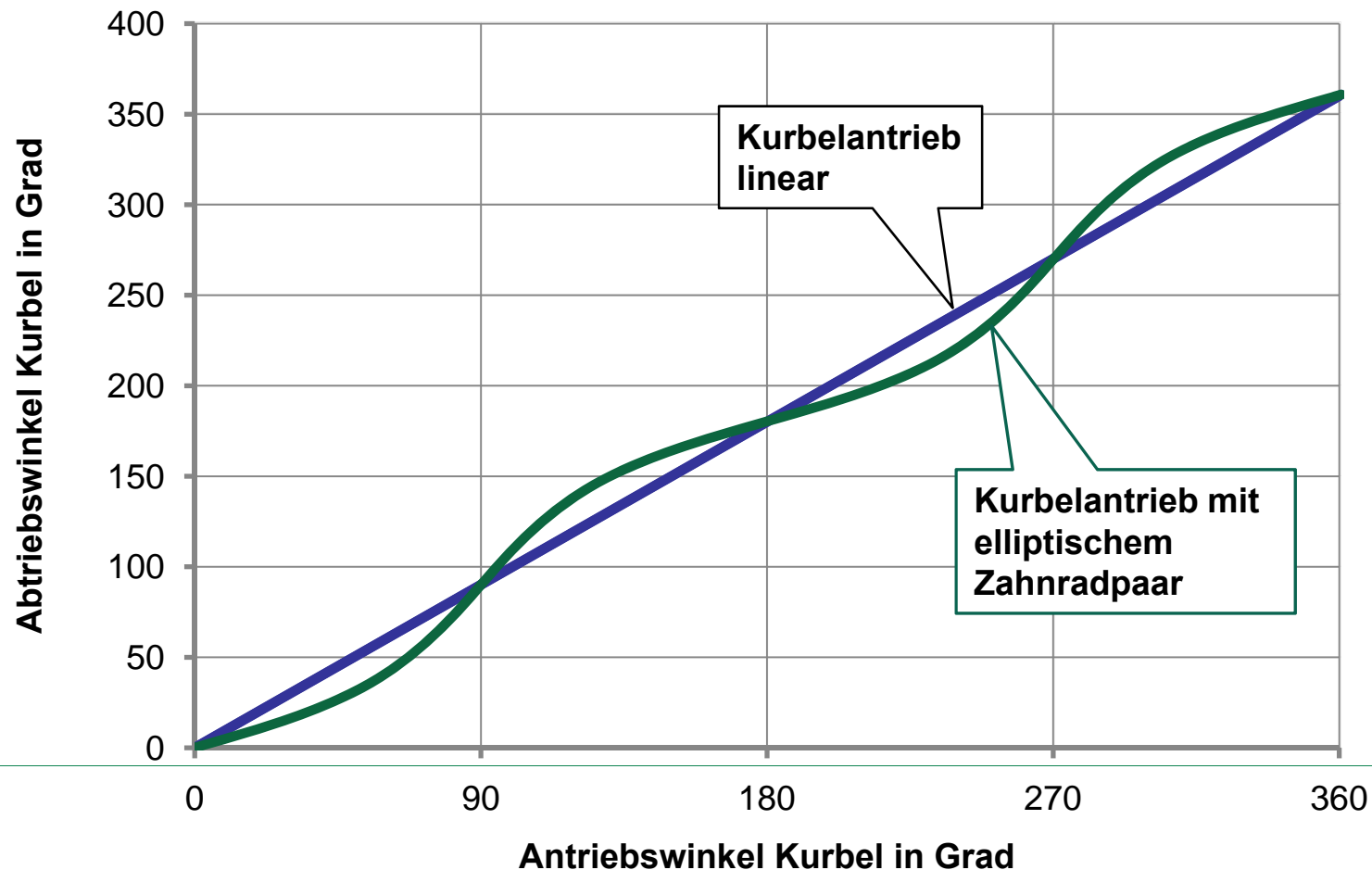


### 3. Anwendertreffen SAXSIM

#### Elliptisches Zahnradpaar als Vorschaltgetriebe

#### Übertragungsfunktion der Kurbel

Übertragungsfunktion 0. Ordnung  
Kurbel

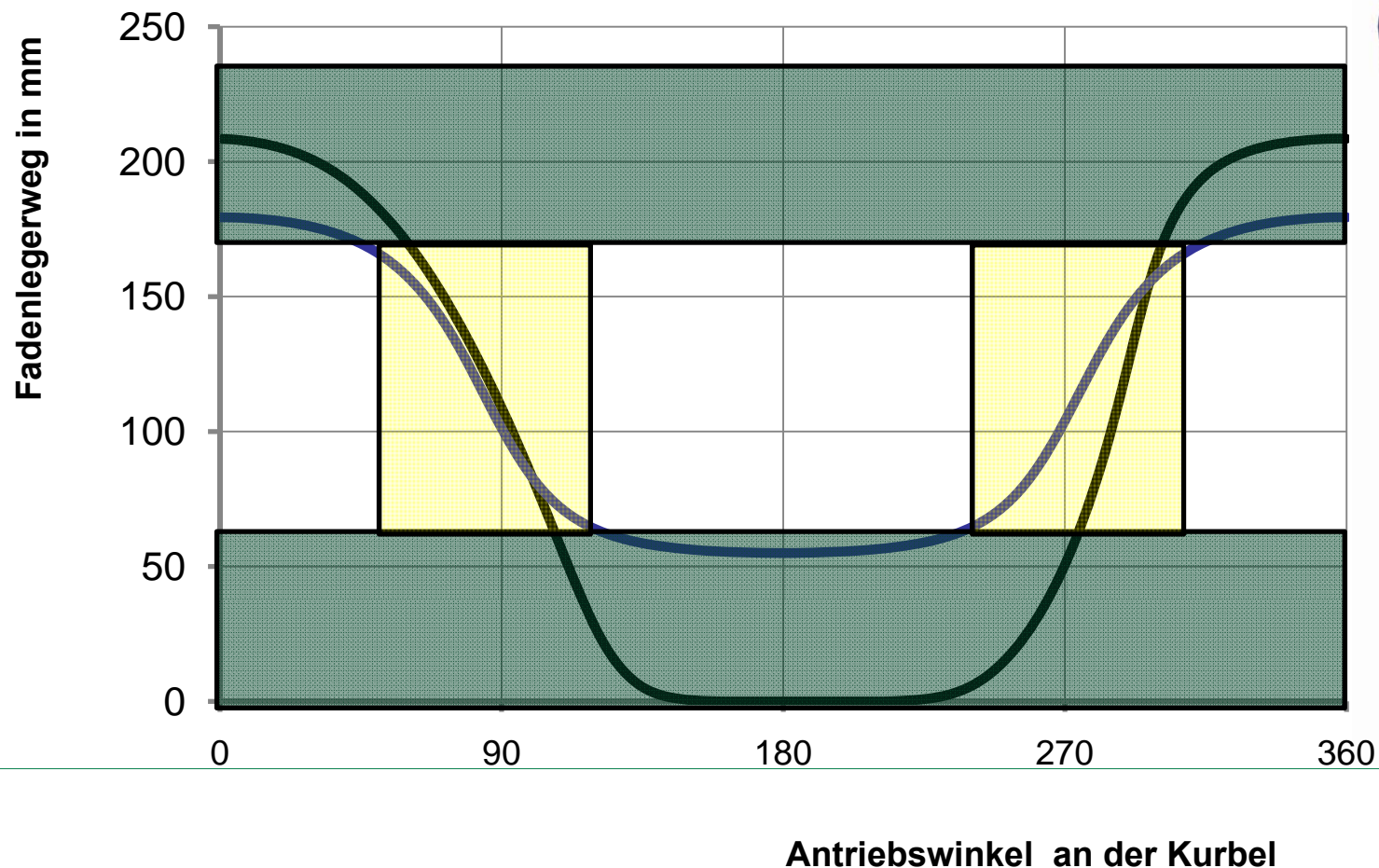


### 3. Anwendertreffen SAXSIM

#### Elliptisches Zahnradpaar als Vorschaltgetriebe

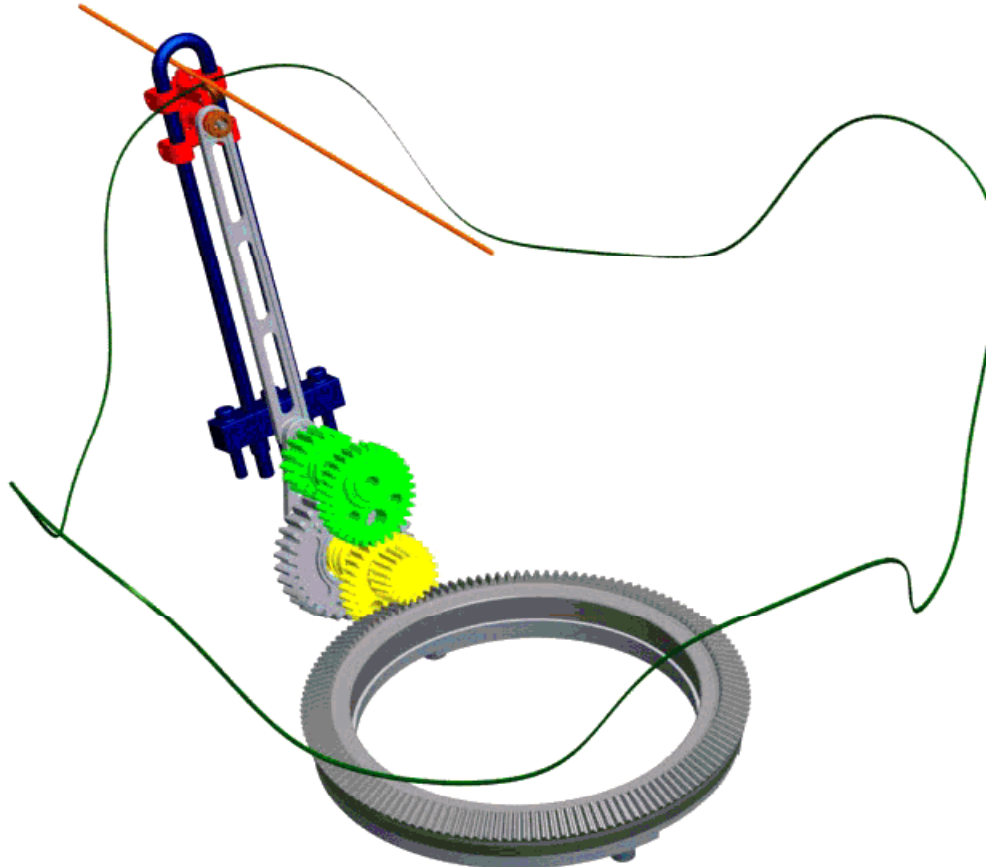
#### Fadenlegerweg mit Vorschaltgetriebe

Übertragungsfunktion 0. Ordnung  
Schubkurbel



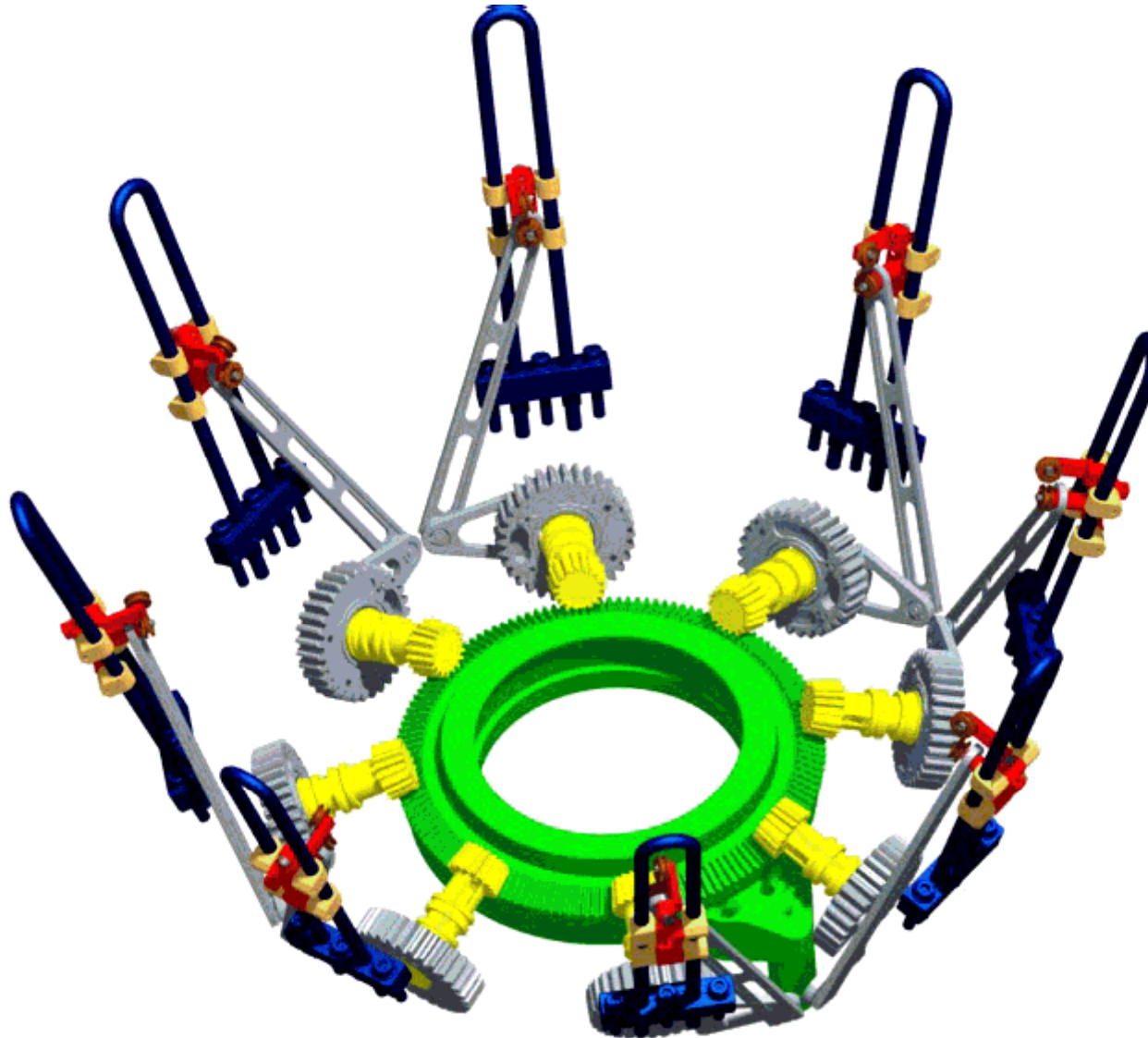
### 3. Anwendertreffen SAXSIM

#### Elliptisches Zahnradpaar als Vorschaltgetriebe



### 3. Anwendertreffen SAXSIM

#### Elliptisches Zahnradpaar als Vorschaltgetriebe

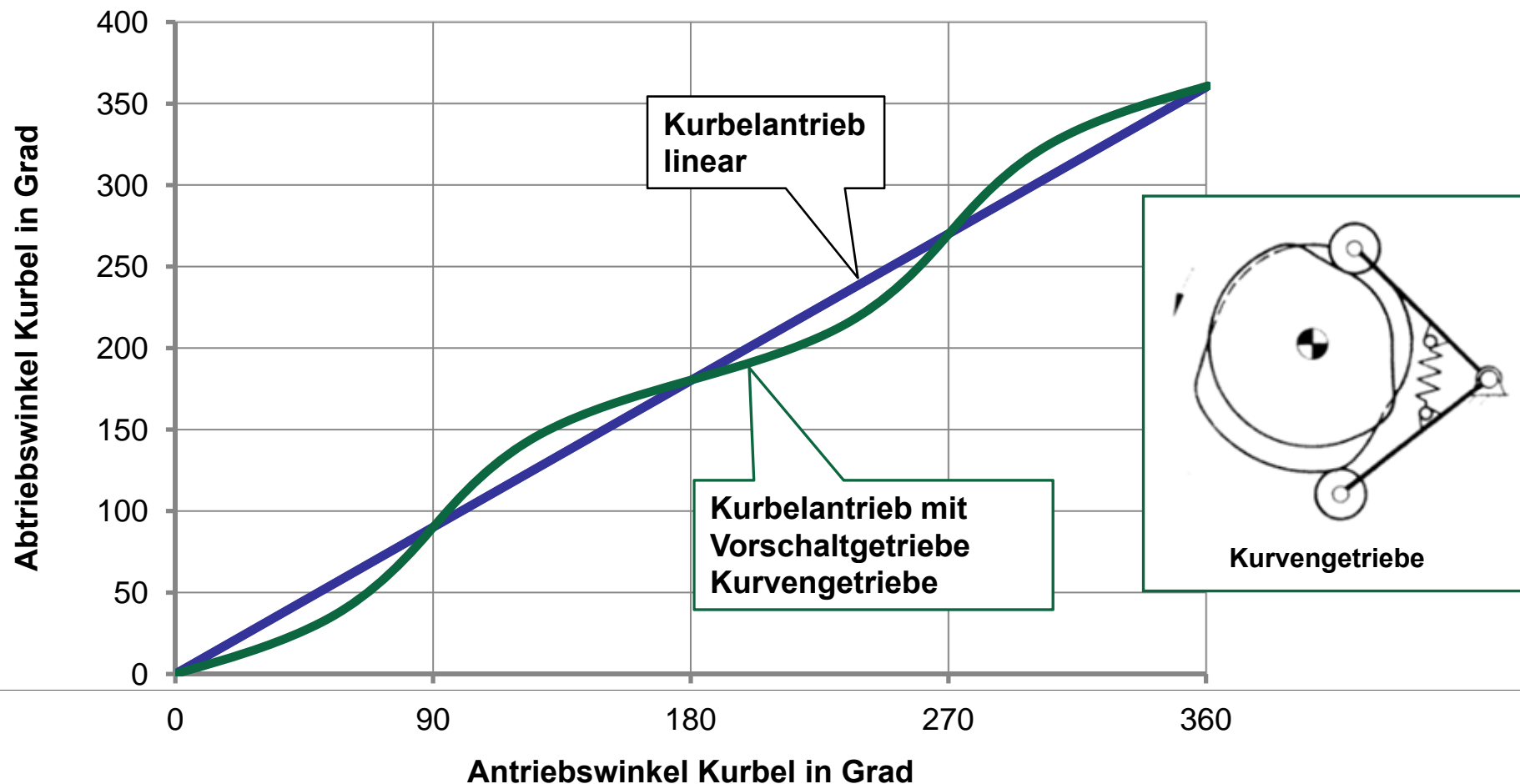


### 3. Anwendertreffen SAXSIM

#### Kurvengetriebe als Vorschaltgetriebe

#### Übertragungsfunktion der Kurbel

##### Übertragungsfunktion 0. Ordnung Kurbel

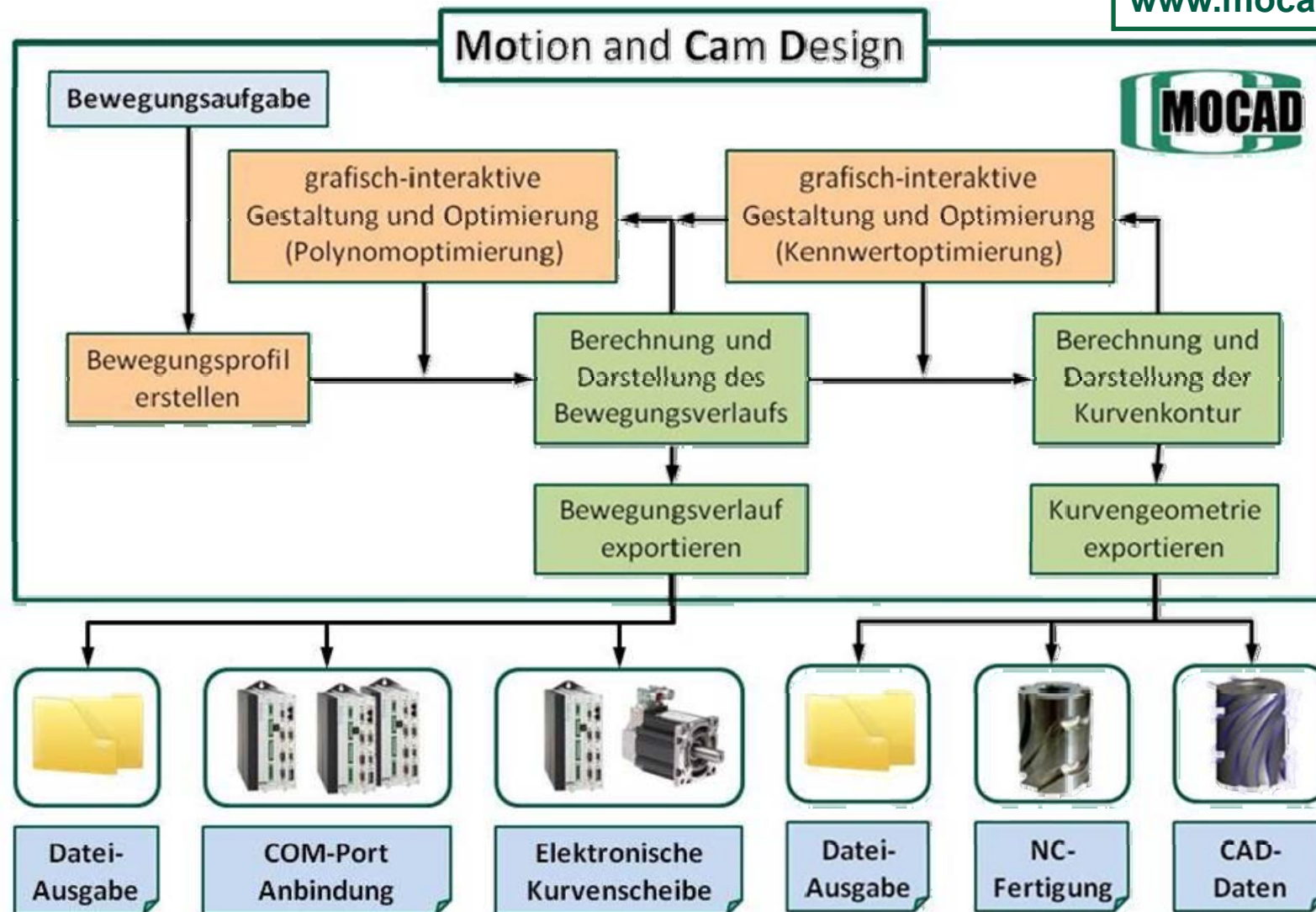




### 3. Anwendertreffen SAXSIM

## Kurvengetriebe als Vorschaltgetriebe

[www.mocad.info](http://www.mocad.info)

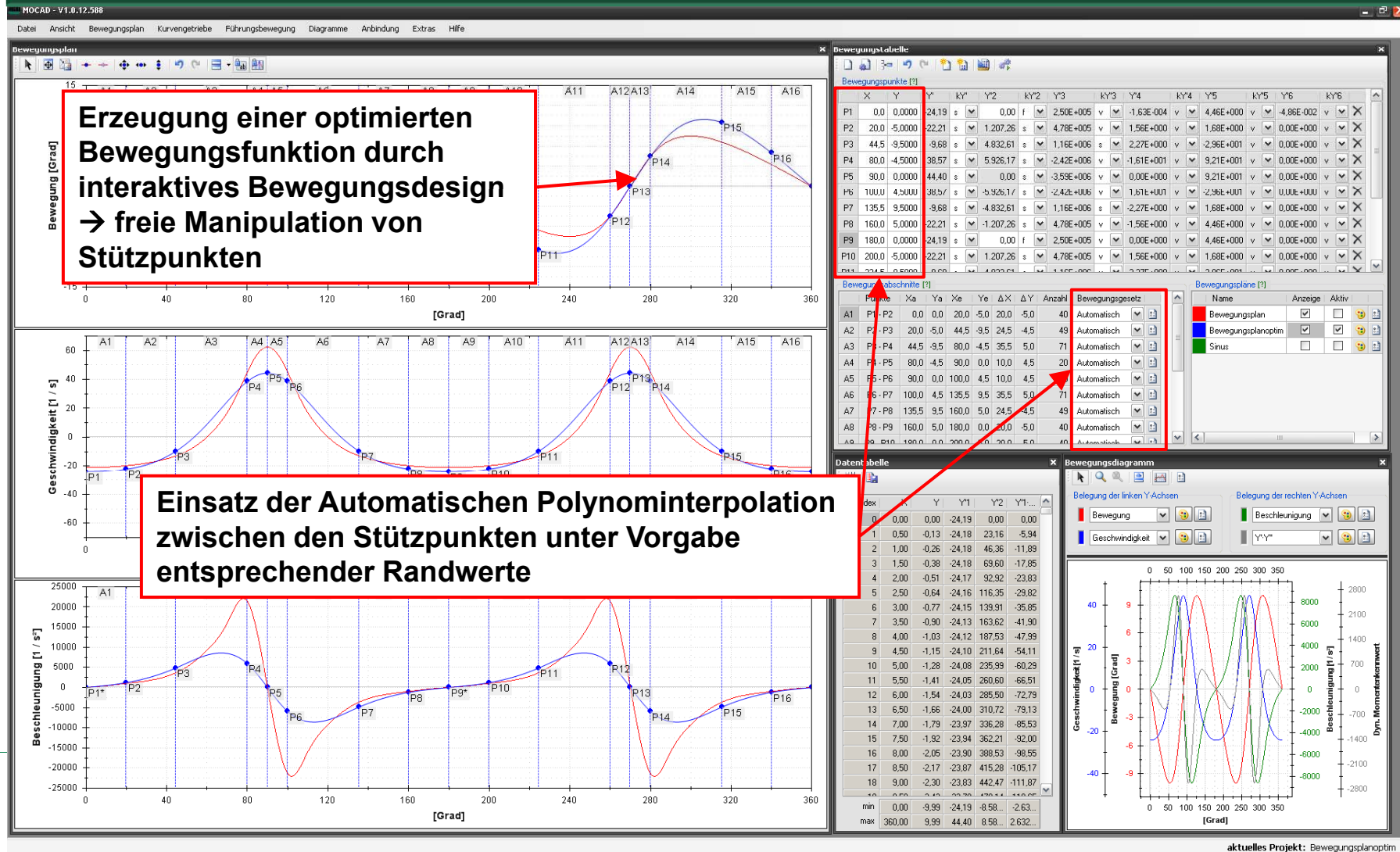




# 3. Anwendertreffen SAXSIM

## Kurvengetriebe als Vorschaltgetriebe

### Bewegungsdesign mit MOCAD



### 3. Anwendertreffen SAXSIM

## Kurvengetriebe als Vorschaltgetriebe

### Bewegungsdesign mit MOCAD

MOCAD - V1.0.12.588 - [Kurvengetriebe]

Datei Ansicht Bewegungsplan Kurvengetriebe Führungsbewegung Diagramme Anbindung Extras Hilfe

Hauptabmessungen

Grundkreisradius :	135 mm [?]	Achsabstand :	250 mm [?]
Hebellänge 1 :	220 mm [?]	Hebellänge 2 :	220 mm [?]
Berührungsbreite 1 :	24 mm [?]	Berührungsbreite 2 :	24 mm [?]
Rollenradius 1 :	23,5 mm [?]	Rollenradius 2 :	23,5 mm [?]
Winkel :	65 ° [?]	halbe Zylinderhöhe :	50 mm [?]
Anfangswinkel :	0 ° [?]	Wellendurchmesser :	40 mm [?]

Analysewerte

min. Übertragungswinkel :	49,90 ° [?]	max. Wälzpressung :	4,47 N/mm² [?]
min. Krümmungsradius :	82,73 mm [?]	max. Gelenkkraft :	3.626,35 N [?]
min. Kurvenradius :	72,49 mm [?]	max. Kurvenradius :	149,43 mm [?]
max. Federkraft :	0,00 N [?]	max. t. Gelenkkraft :	3.237,40 N [?]
max. Beschleunigung :	8.581,05 1/s² [?]	Rollengeschwindigkeit :	3,84 m/s [?]

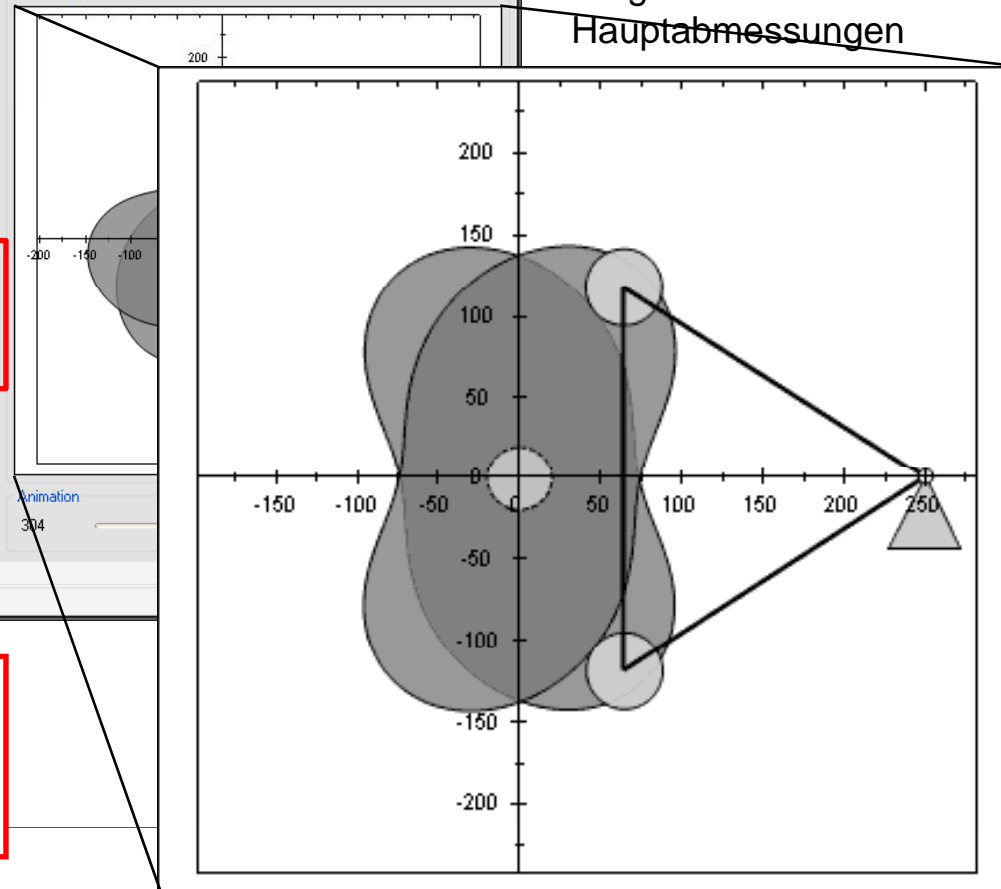
Getriebetyp

☐ an Bewegungsplan anbinden  
☒ Kurven beschneiden

Aktualisieren

X: 189,216005517308 Y: 242,399324180555 (Kurvengetriebe)

Berechnung der ebenen  
Kurvenscheibengeometrie durch  
Vorgabe der Getriebe-  
Hauptabmessungen



Direkte Berechnung von  
kinetostatischen Analysewerten  
durch Vorgabe von Drehzahl und  
äußeren Belastungen

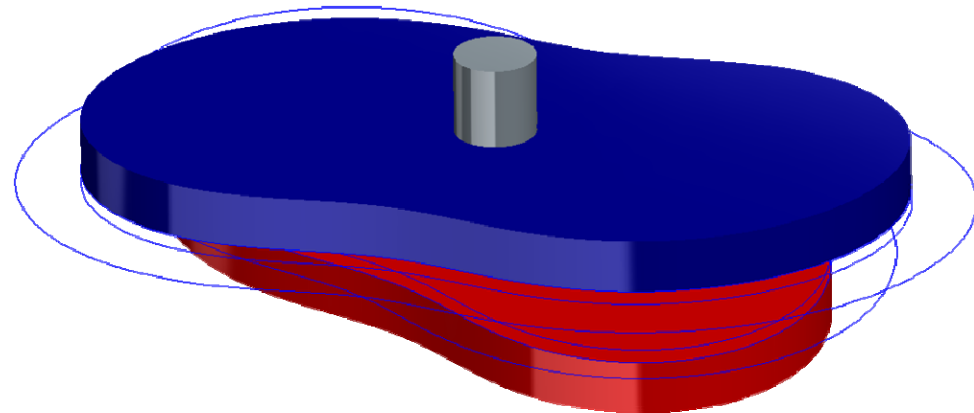
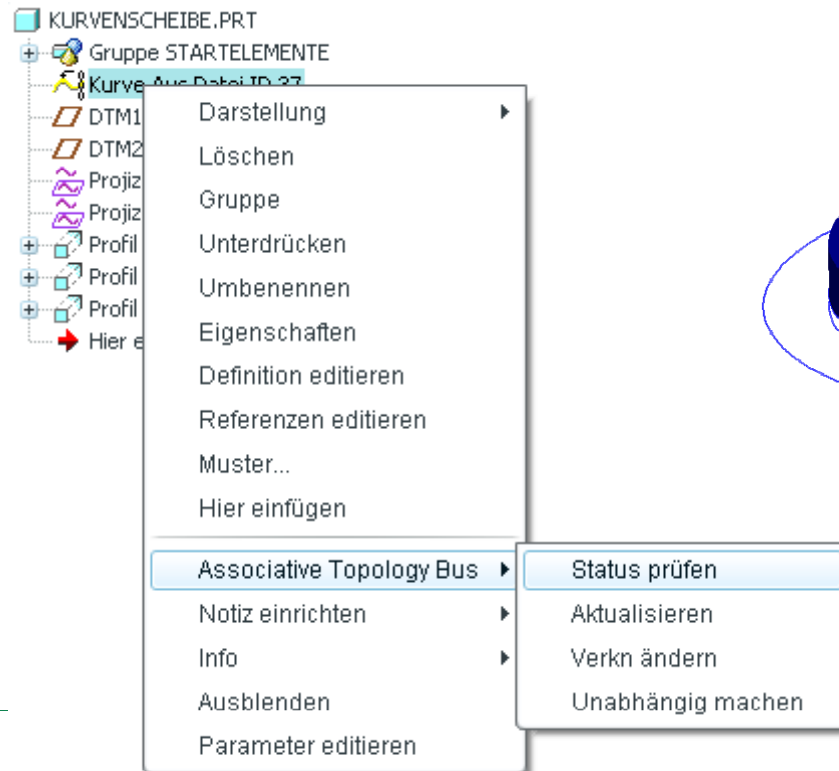
Exportfunktionalität ermöglicht die Übertragung der Kurvenscheibendaten an CREO als .ibl Datei

### 3. Anwendertreffen SAXSIM

#### Kurvengetriebe als Vorschaltgetriebe

#### IBL-Geometrie zum Austausch als Creo-Simulationsmodell

- Der Aufbau des CREO-Simulationsmodells aus der importierten IBL-Geometrie bietet den Vorteil der Aktualisierbarkeit durch *ATB* (*Associative Topology Bus*).
- Alle Konstruktionselemente und Simulations-KEs bleiben beim Austausch der Kurvenkontur erhalten, da die ID des KEs nicht verändert wird.

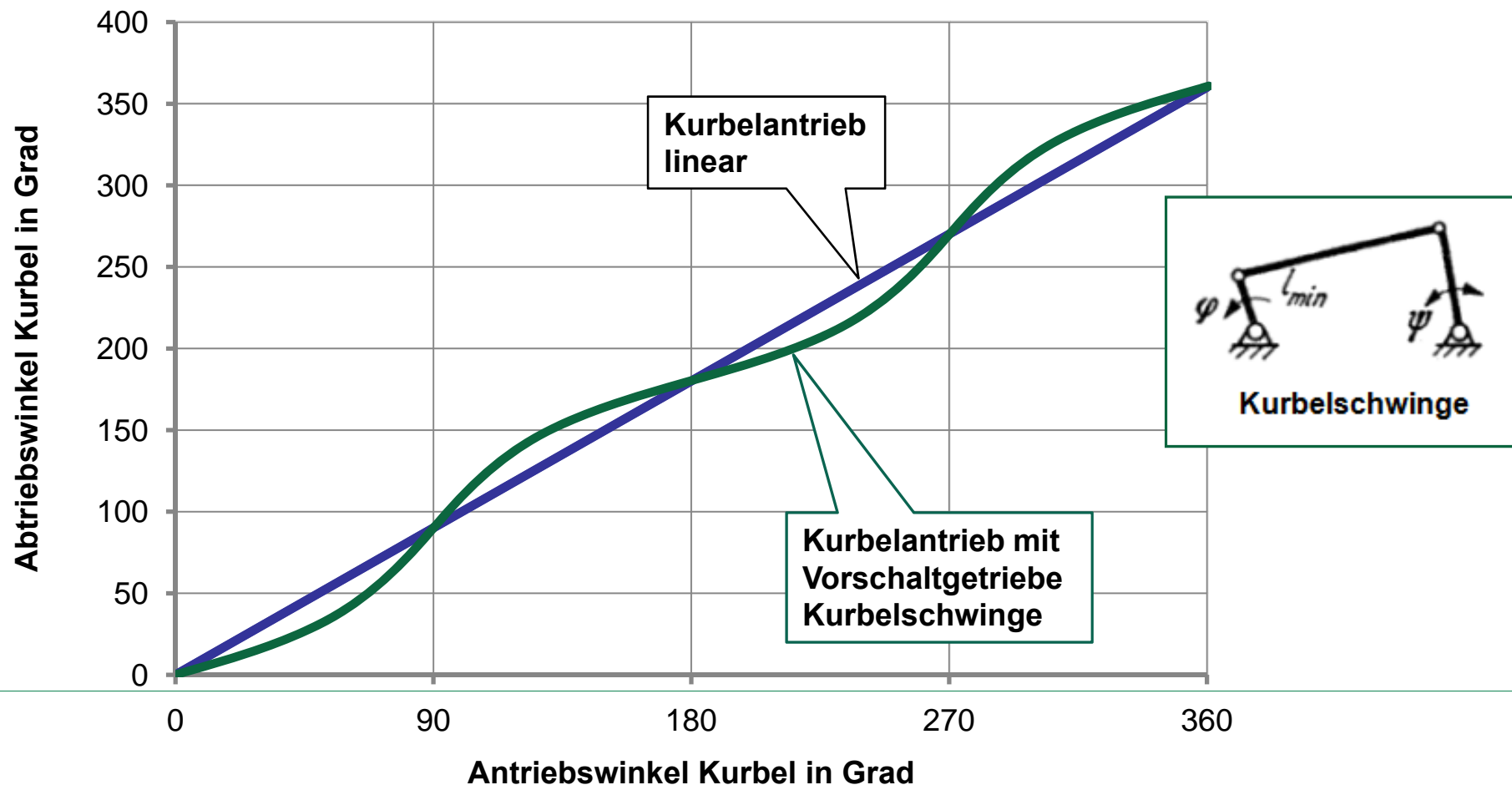


### 3. Anwendertreffen SAXSIM

#### Kurbelschwinge als Vorschaltgetriebe

#### Übertragungsfunktion der Kurbel

##### Übertragungsfunktion 0. Ordnung Kurbel



### 3. Anwendertreffen SAXSIM

## Kurbelschwinge als Vorschaltgetriebe

### Skelett – Modell für die quantitative Synthese

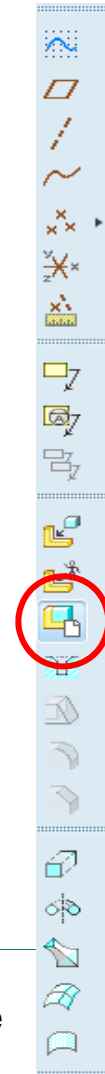
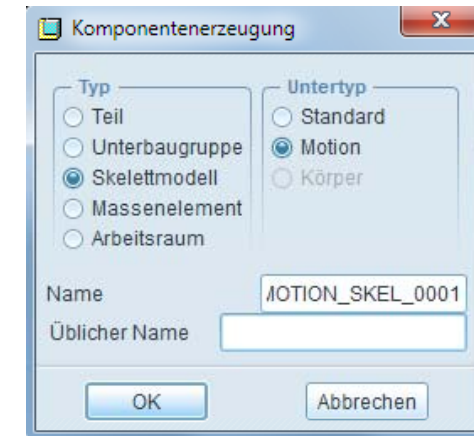
- Skelett-Modelle erfassen **Konstruktionsabsicht und Produktstruktur**
- Die hinterlegten Informationen sind **Masterdefinitionen für Geometrien**
- Änderungen wirken sich auf die Komponenten aus

#### Steuerbare Informationen

- **Produktstruktur**
- **Position** von Schnittstellen und **3D Größenansprüche**
- **Verbindungen** und **Mechanismen**

#### Motion-Skelett

- definiert Bewegungen von Körpern
- ist eine Unterbaugruppe der aktiven Baugruppe
- enthält relativ zueinander bewegliche Skelettkörper → wie die Körper der Baugruppe sich bewegen sollen
- ermöglicht die konzeptionelle Konstruktion zu erfassen und die Kinematik zu testen



#### Konstruktionsskelett

vorhandenes Skelett oder Skizze

#### Skelettkörper

Komponenten erzeugt aus Körperskelett

#### Randbedingungssätze

Definieren die kinematischen Zusammenhänge

[Quelle: A. Heine: Kinematische Analyse ebener und räumlicher Getriebestrukturen mit Hilfe von Motion-Skeletten, 2009, SAXSIM]

### 3. Anwendertreffen SAXSIM

#### Kurbelschwinge als Vorschaltgetriebe

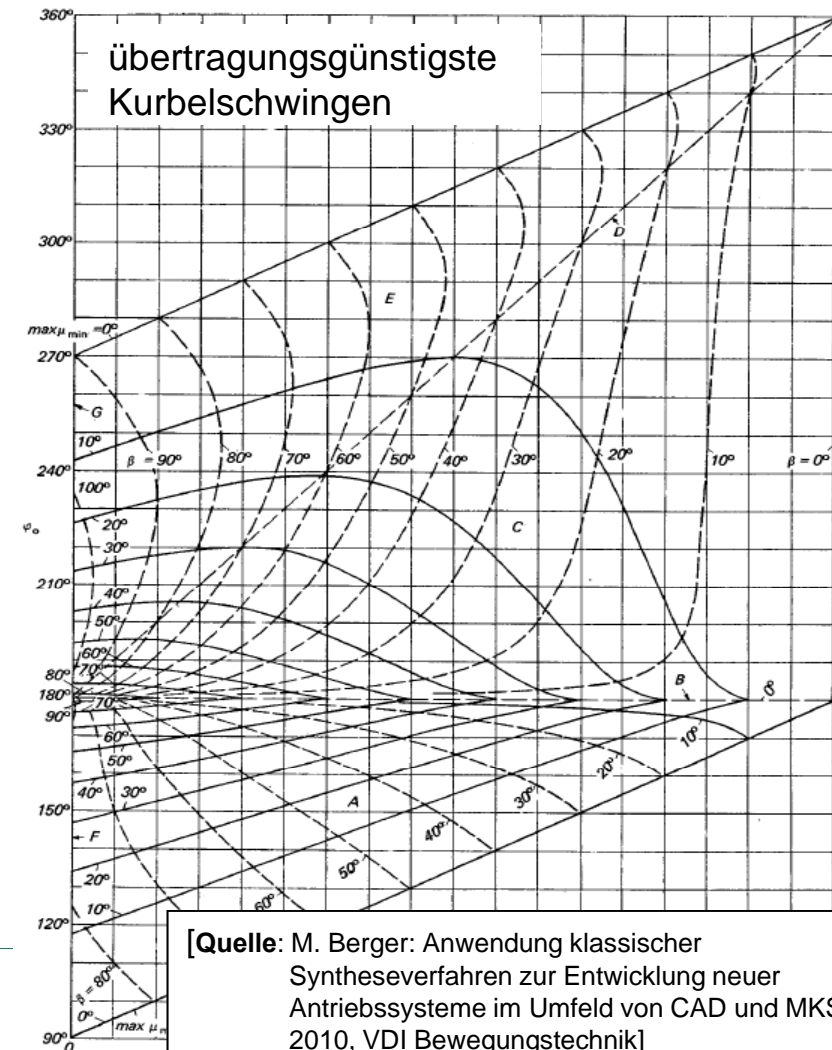
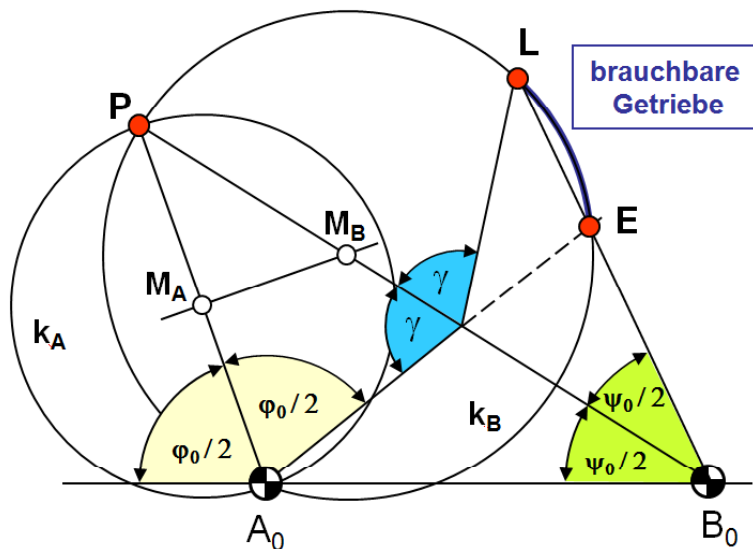
#### VDI 2130

Aufgabe: Schwingbewegung mit  
2 Umkehrlagen



VDI 2130: Getriebe für Hub- und  
Schwingbewegungen

Vorgabewerte: Gliedlänge  $l_1$  ( $A_0B_0$ )  
Totlagenwinkel  $\varphi_0$  und  $\psi_0$





### 3. Anwendertreffen SAXSIM

#### Kurbelschwinge als Vorschaltgetriebe

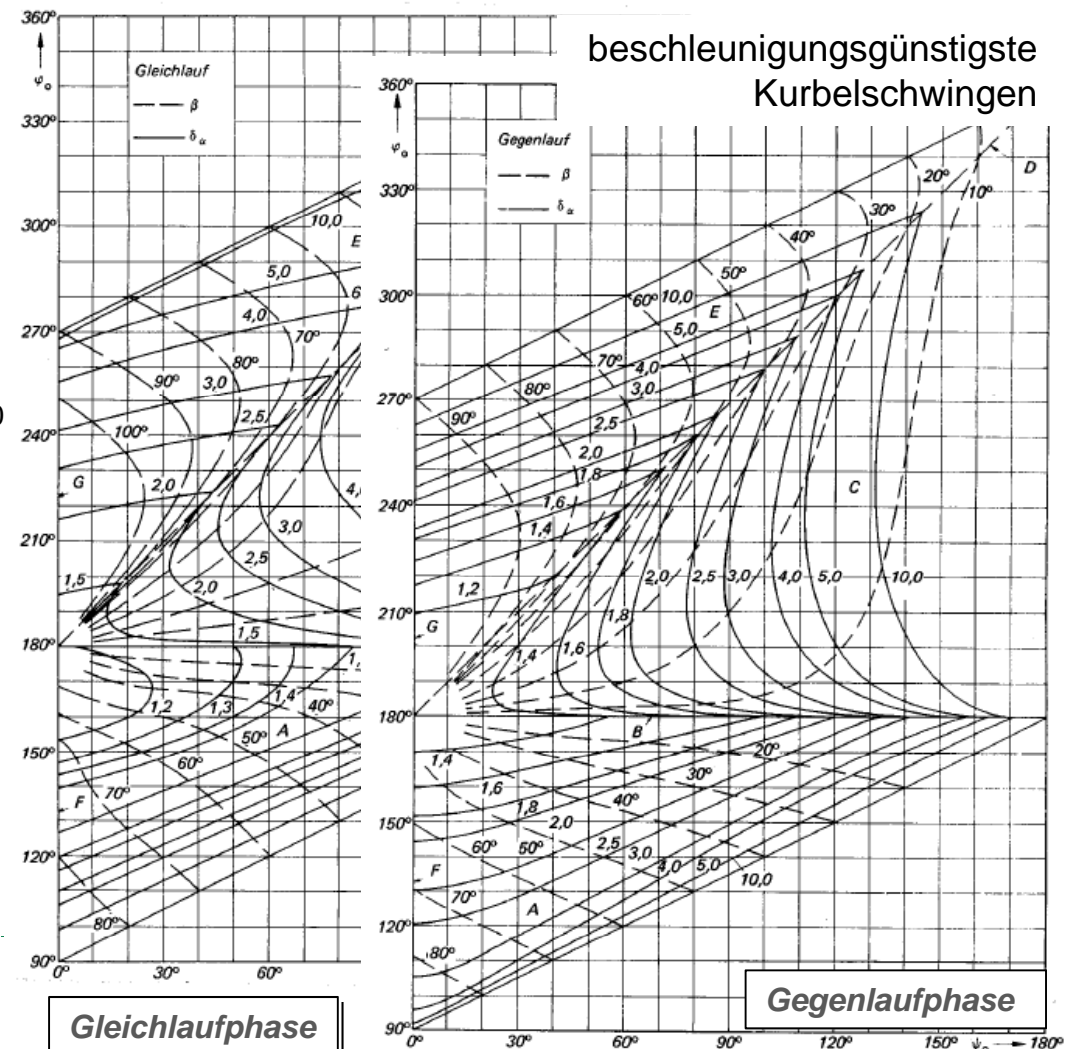
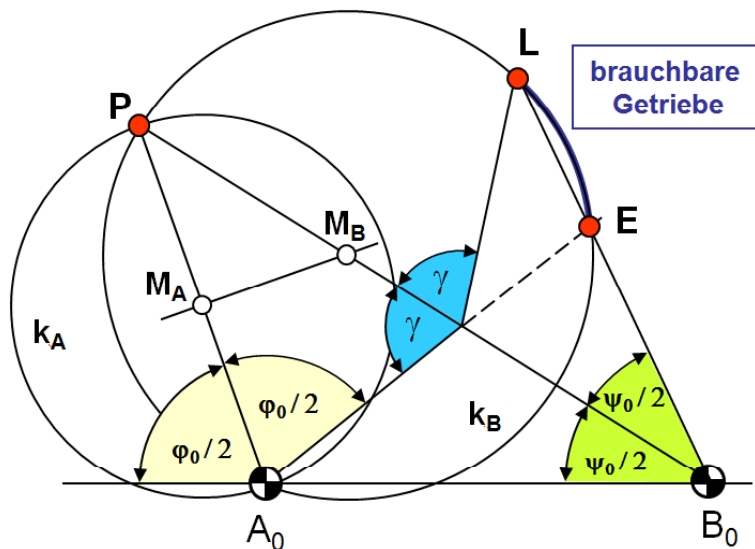
#### VDI 2130

Aufgabe: Schwingbewegung mit  
2 Umkehrlagen



VDI 2130: Getriebe für Hub- und  
Schwingbewegungen

Vorgabewerte: Gliedlänge  $l_1$  ( $A_0B_0$ )  
Totlagenwinkel  $\varphi_0$  und  $\psi_0$

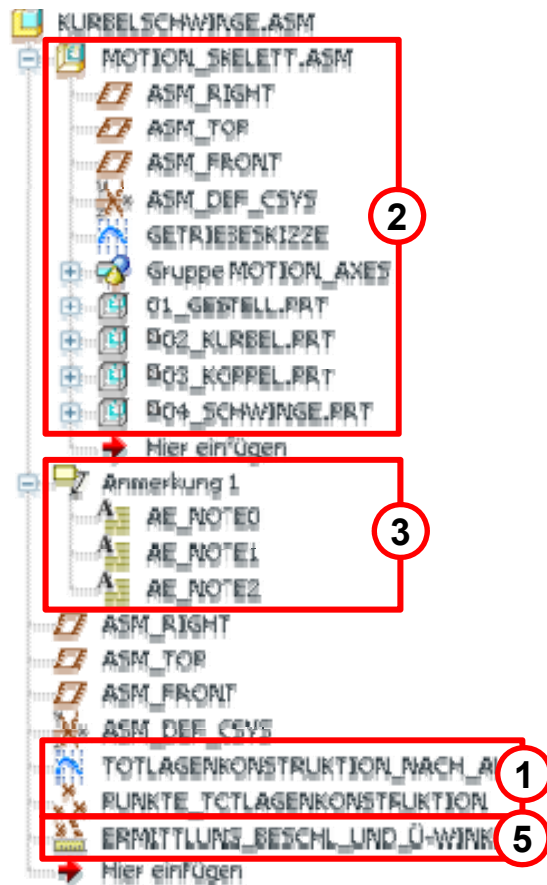




### 3. Anwendertreffen SAXSIM

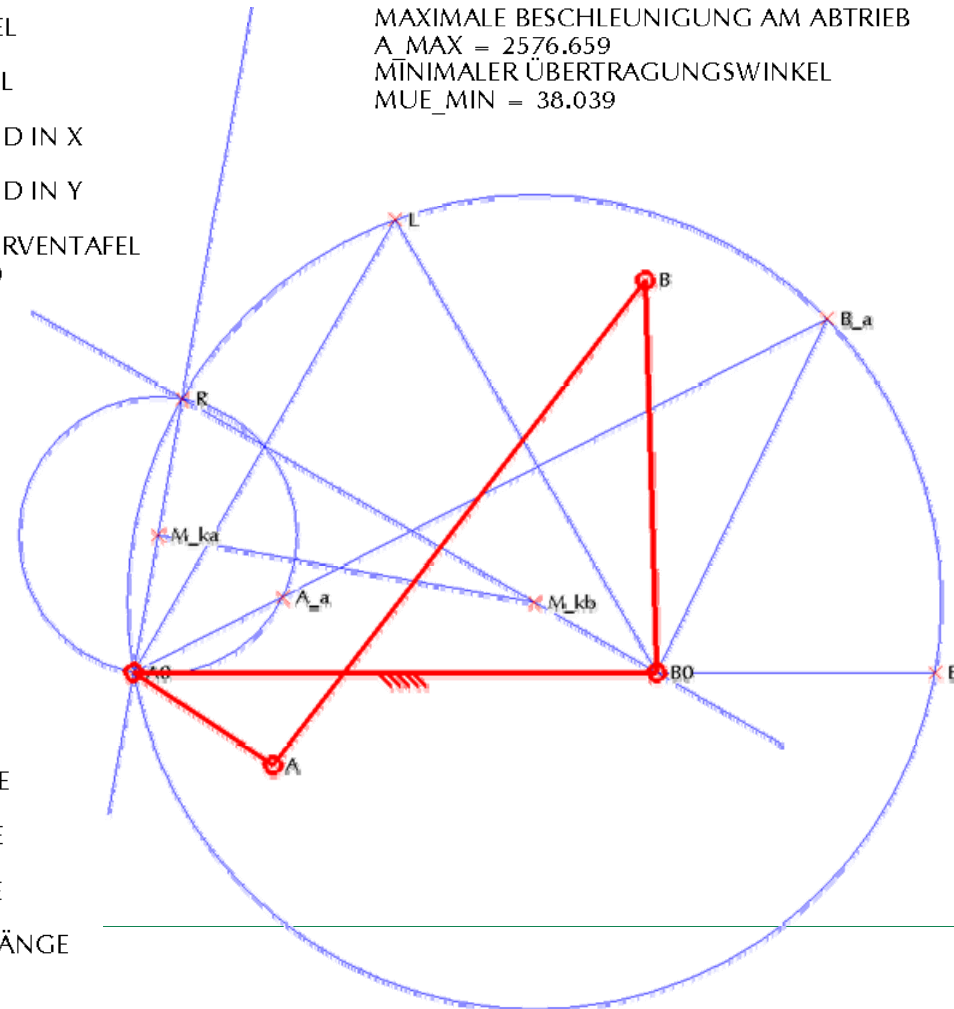
## Kurbelschwinge als Vorschaltgetriebe

### Parametrischer Aufbau der Kurbelschwinge



ANTRIEBSWINKEL  
PHI0 = 200.000  
ABTRIEBSWINKEL  
PSI0 = 60.000  
GESTELLABSTAND IN X  
B0\_x = 900.000  
GESTELLABSTAND IN Y  
B0\_y = 100.000  
WINKEL AUS KURVENTAFEL  
BETHA = 41.000

MAXIMALE BESCHLEUNIGUNG AM ABTRIEB  
A\_MAX = 2576.659  
MINIMALER ÜBERTRAGUNGSWINKEL  
MUE\_MIN = 38.039

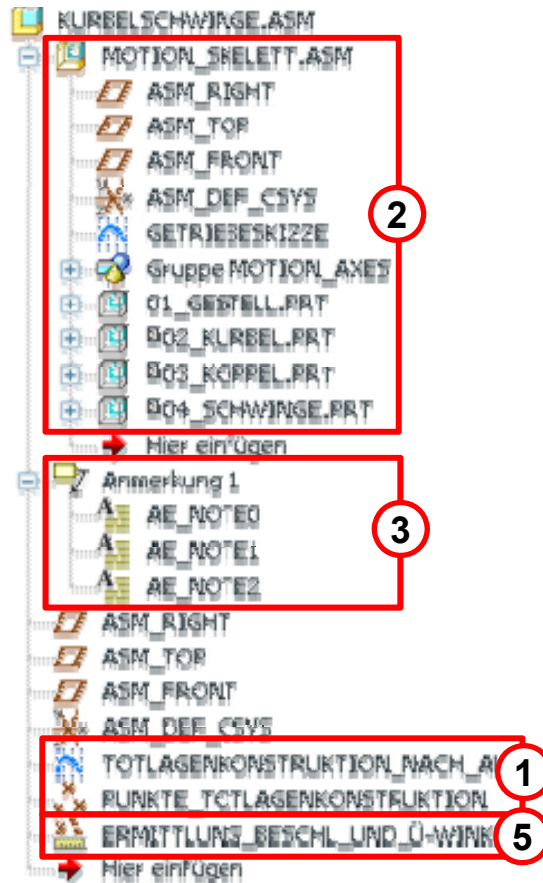


GESTELLLÄNGE  
L1 = 905.539  
KURBELLÄNGE  
L2 = 374.450  
KOPPELLÄNGE  
L3 = 833.100  
SCHWINGENLÄNGE  
L4 = 792.245

### 3. Anwendertreffen SAXSIM

## Kurbelschwinge als Vorschaltgetriebe

### Parametrischer Aufbau der Kurbelschwinge



#### Vorgehensweise:

##### 1. Totlagenkonstruktion

- Erzeugung einer Skizze mit der Totlagenkonstruktion nach Alt
- Einfügen von Punkten zur Kennzeichnung

##### 2. Motion Skelett

- Erzeugung eines Motion Skeletts als Unterbaugruppe
- Definition der Getriebeskizze (Totlagenkonstruktion als Referenz der Getriebeabmessungen) → Befehl „Verwenden“
- Erzeugung der Getriebeglieder („Komponentenerzeugung“) → Typ: Körper
- Gelenkige Verbindungen werden automatisch hinzugefügt

##### 3. Notizen

- Definition von Beziehungen zwischen Konstruktionsskizze und Motion Skelett
- Erzeugung von Notizen zur Steuerung der Eingabeparameter und zur Darstellung der Ergebnisse

##### 4. Mechanismusmodell

- Definition eines Servomotors mit konstanter Geschwindigkeit
- Definition einer Kinematischen Analyse und der Messgrößen für die Beschleunigung am Abtrieb und den Übertragungswinkel

##### 5. Bewegungsanalyse

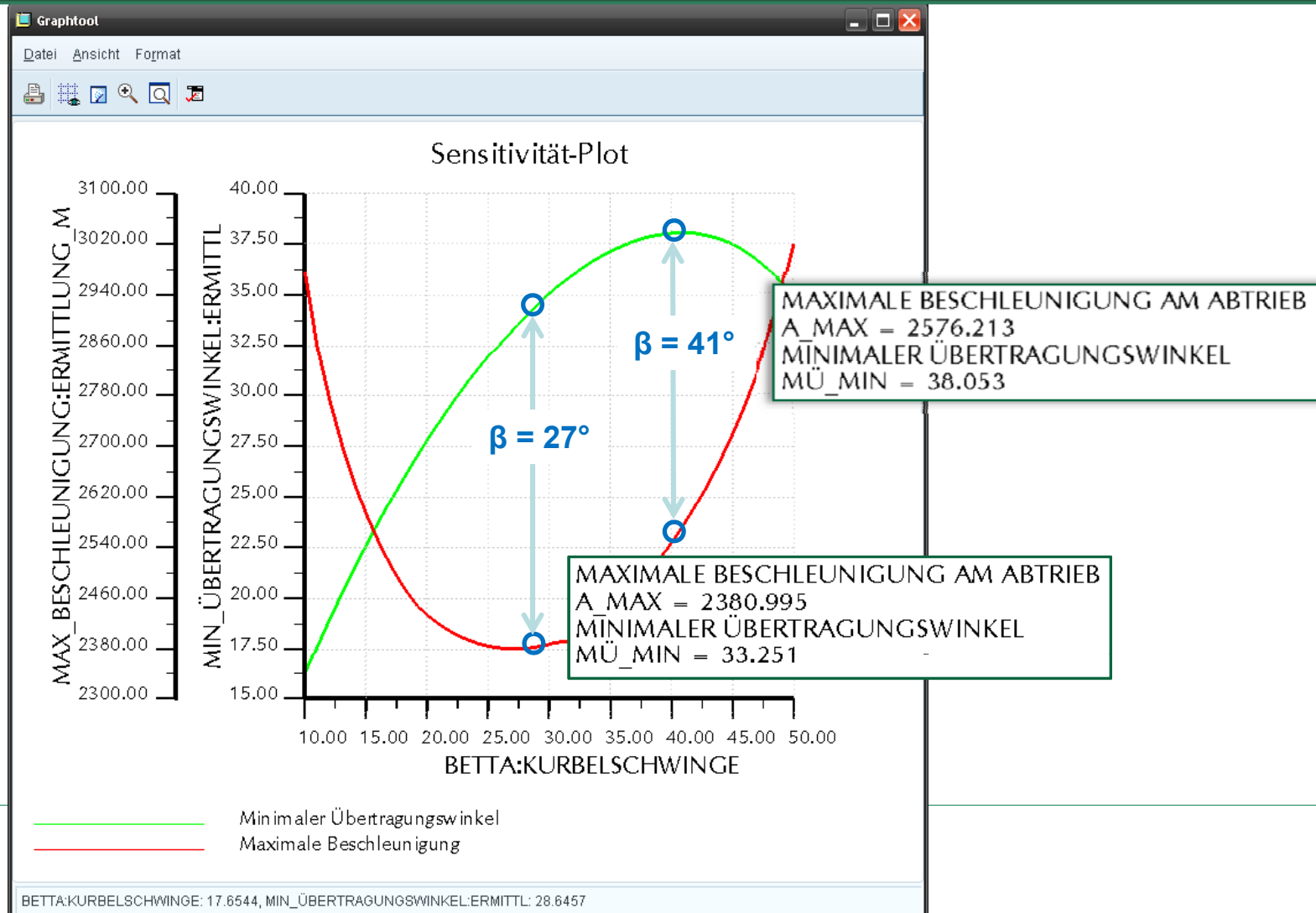
- Durchführung einer Bewegungsanalyse mit Auswertung der definierten Messgrößen → Speicherung als KE zur Parameterverwendung

##### 6. Sensitivitätsstudie

### 3. Anwendertreffen SAXSIM

## Kurbelschwinge als Vorschaltgetriebe

### Sensitivitätsanalyse der Kurbelschwinge

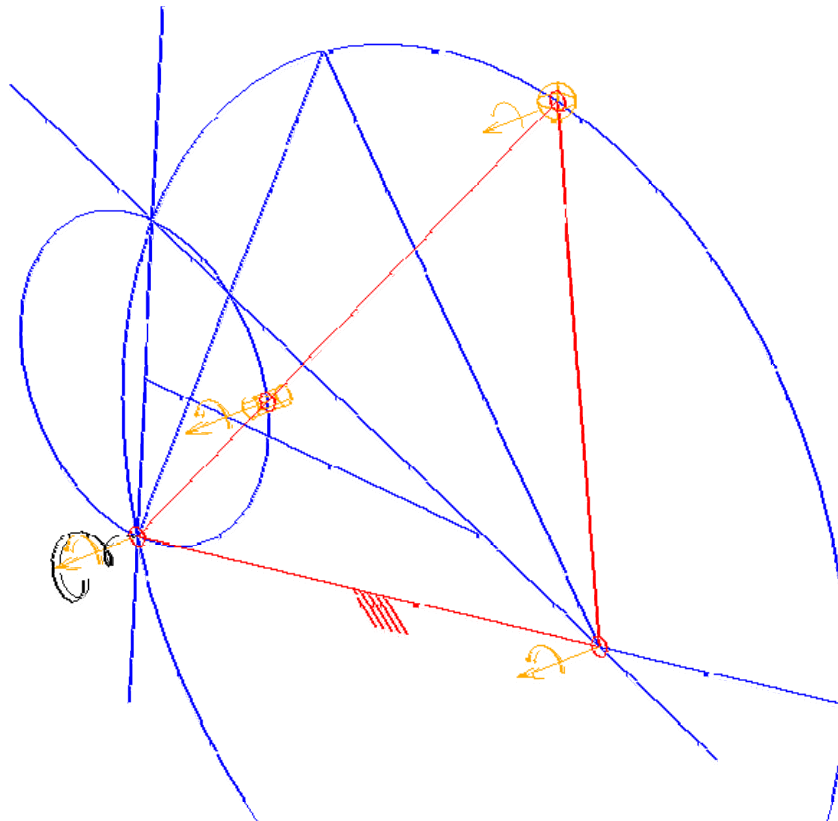


### 3. Anwendertreffen SAXSIM

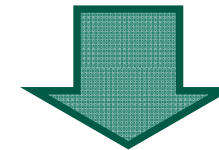
#### Kurbelschwinge als Vorschaltgetriebe

#### Überbestimmungen durch Gelenkdefinition vermeiden

- Die automatische Gelenkdefinition von Skelettmodellen führt bei ebenen Mechanismen zu Redundanz
- Diese können manuell durch den Austausch der Gelenke beseitigt werden



- Kinematische Analyse ergibt **3 Redundanzen**



- Kinematische Analyse mit geänderten Gelenkdefinitionen ergibt **0 Redundanzen**

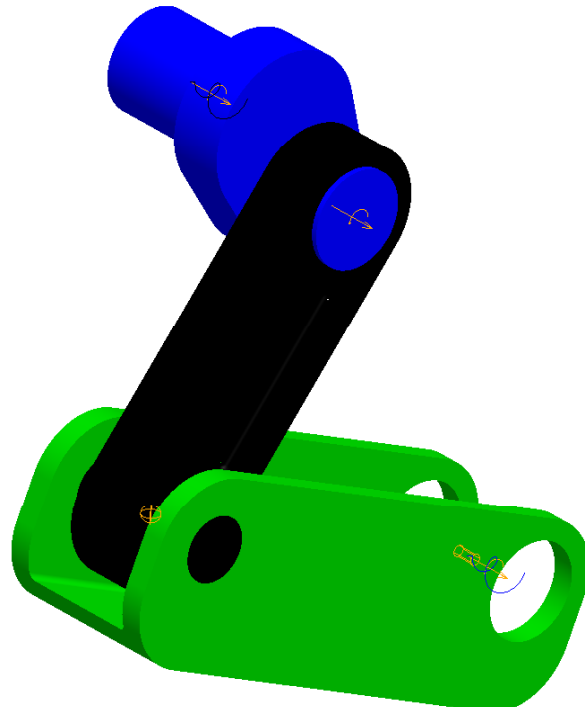
[Quelle: R. Jakel: Ganzheitliche Getriebeauslegung Teil 2, 2008, PTC Anwendertreffen]

### 3. Anwendertreffen SAXSIM

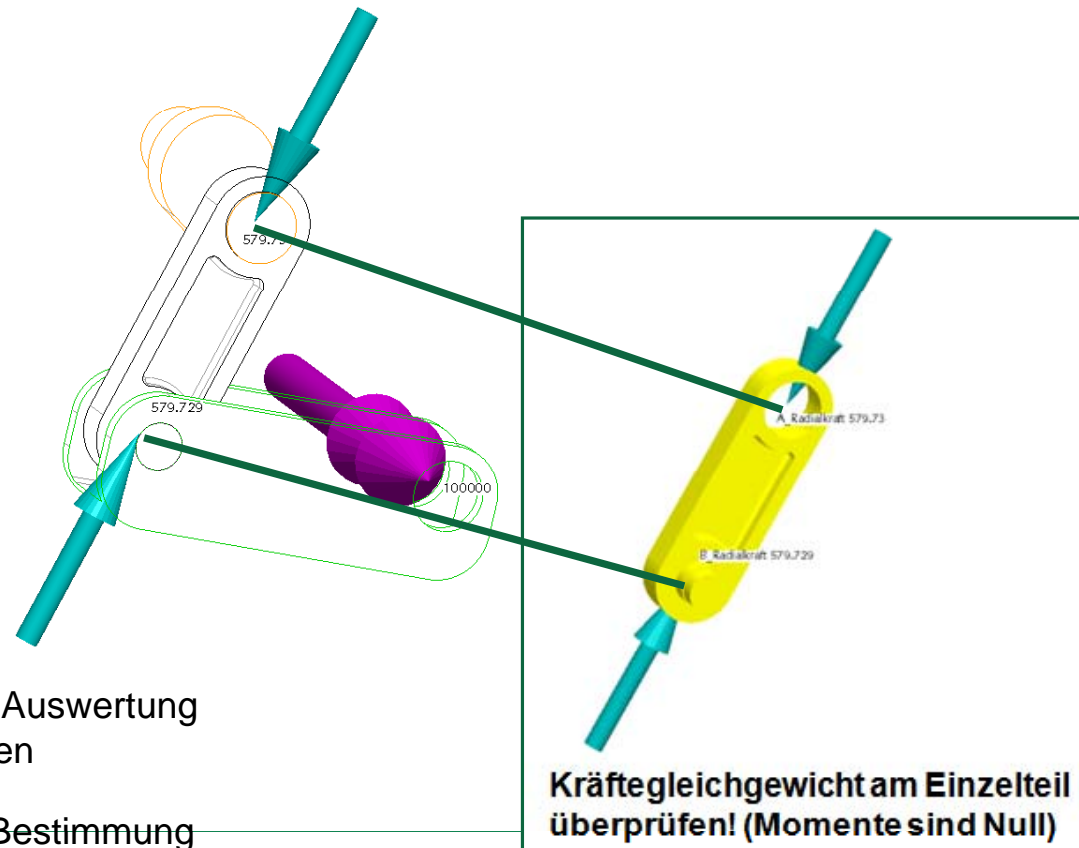
#### Integrierte FEM-Analyse einzelner Bauteile

#### Entfernen von Redundanzen und MDO Analyse

Quasistatische Bewegung (10 Grad/sec)



Dynamisch (40 Umdrehungen/sec)



- Redundanzen können zur fehlerhaften Auswertung von Gelenkkraften und Momenten führen
- Eine fehlerfreie Auswertung ist für die Bestimmung der Schnittkräfte und das Herstellen des Kräftegleichgewichtes am Einzelteil wichtig

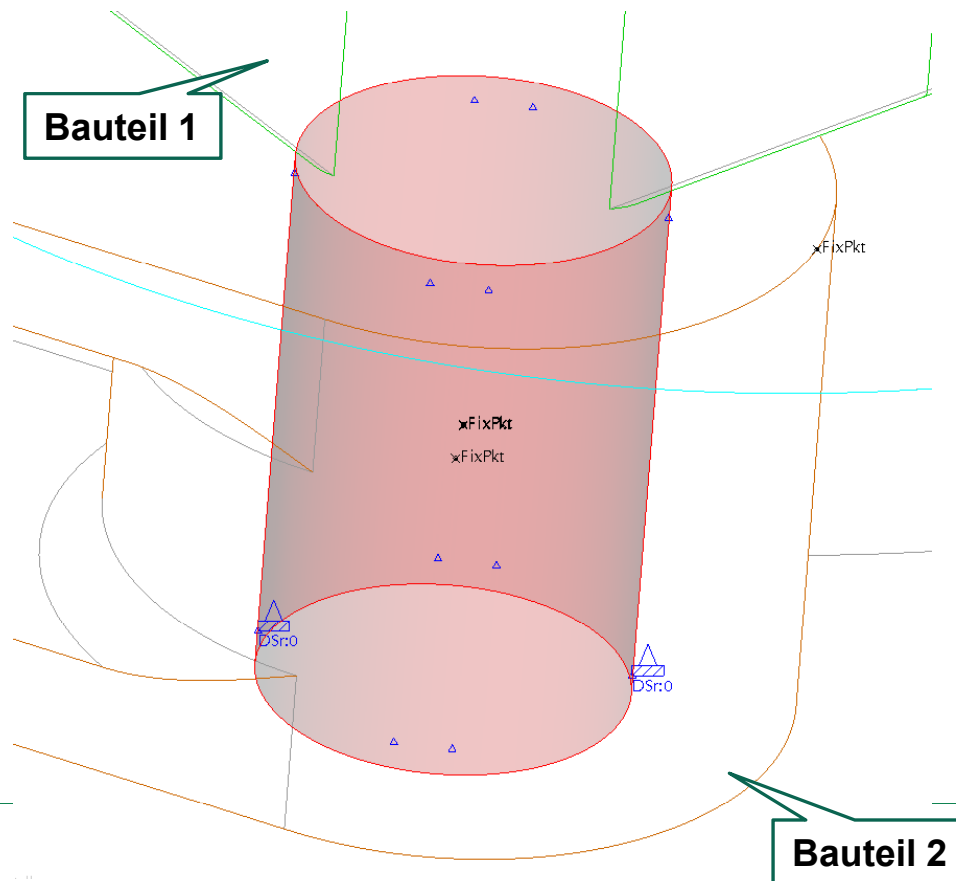
[Quelle: R. Jakel: Ganzheitliche Getriebeauslegung Teil 2, 2008, PTC Anwendertreffen]

### 3. Anwendertreffen SAXSIM

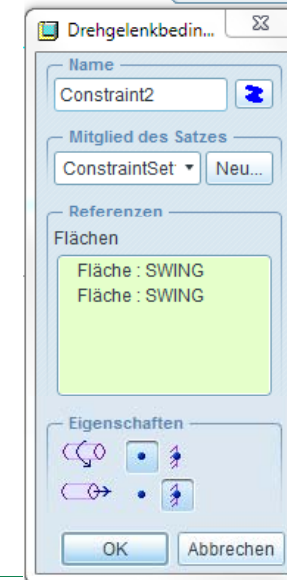
#### Integrierte FEM-Analyse einzelner Bauteile

## Aufbau von Lagergelenken in Mechanica (1)

Planar, Dreh- und Kugelgelenkbedingung



**Achtung!**  
Nur zwischen Gestell  
und bewegtem Bauteil  
einsetzbar!

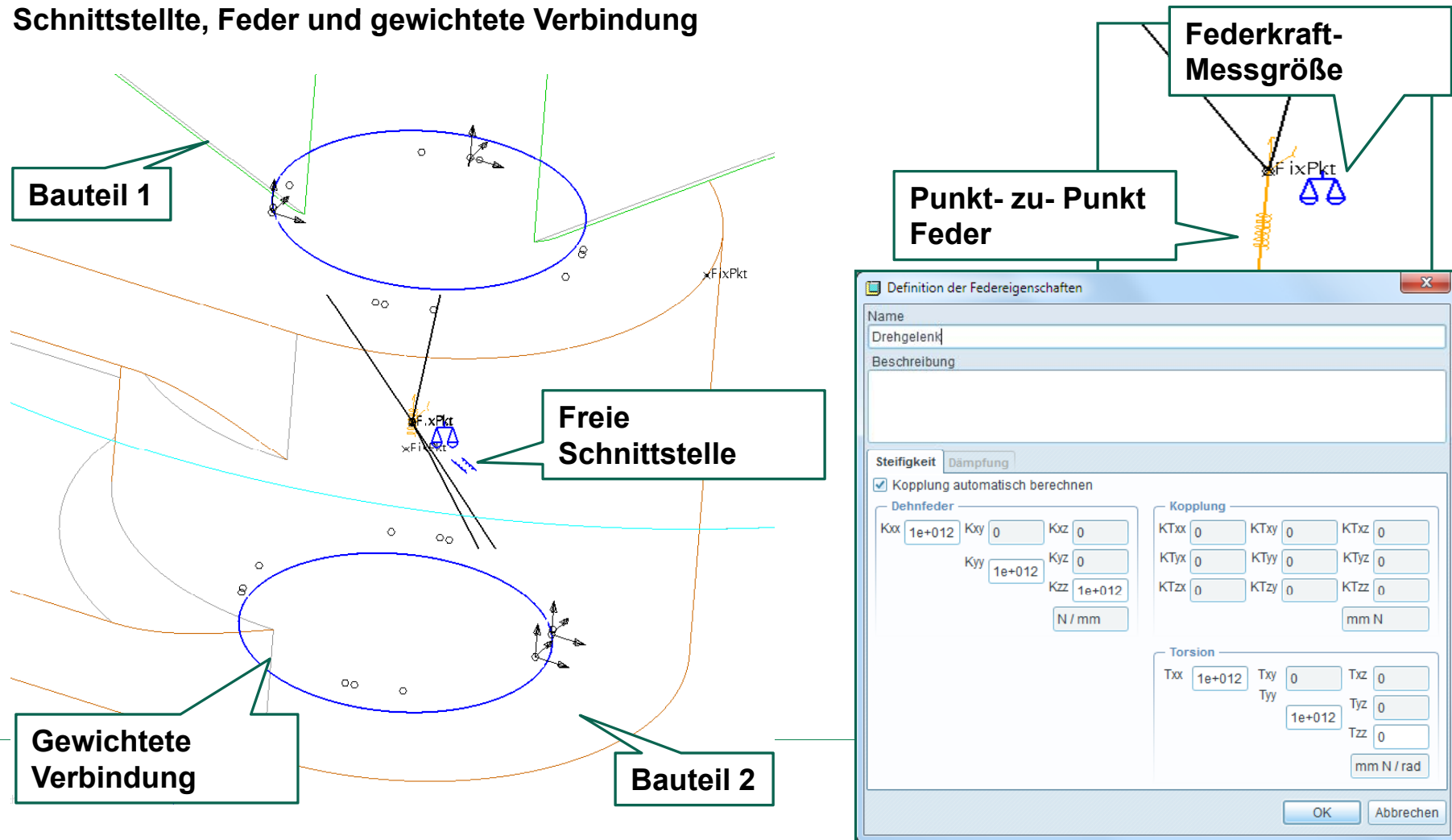


### 3. Anwendertreffen SAXSIM

#### Integrierte FEM-Analyse einzelner Bauteile

## Aufbau von Lagergelenken in Mechanica (2)

### Schnittstelle, Feder und gewichtete Verbindung

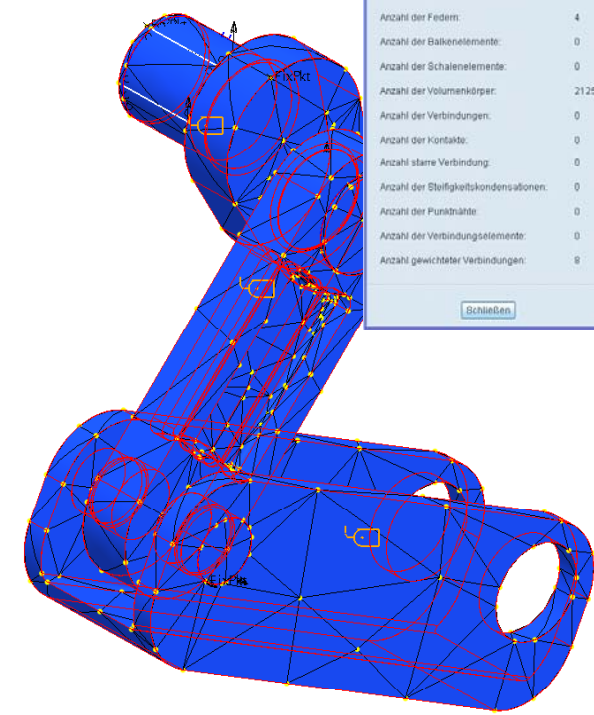
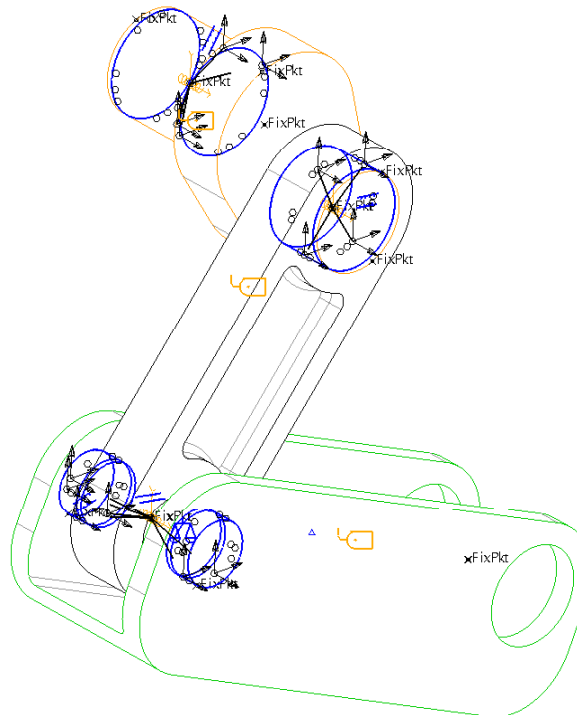
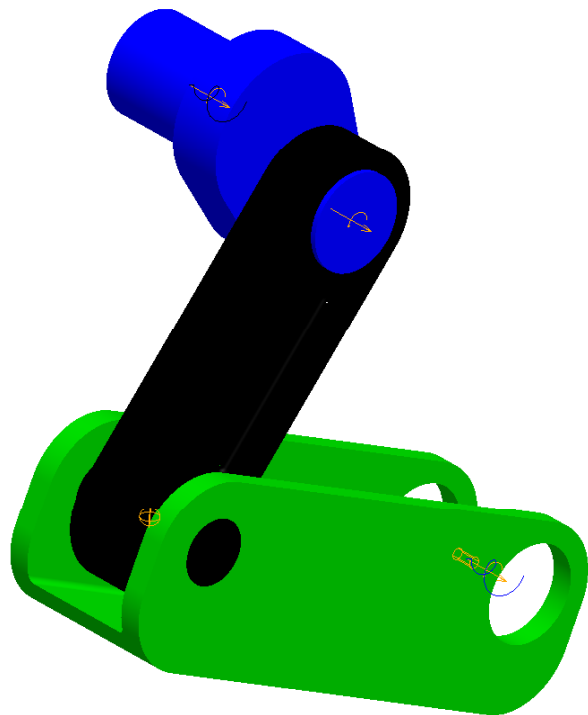




### 3. Anwendertreffen SAXSIM

#### Integrierte FEM-Analyse einzelner Bauteile

#### Aufbau des Gesamtmodells



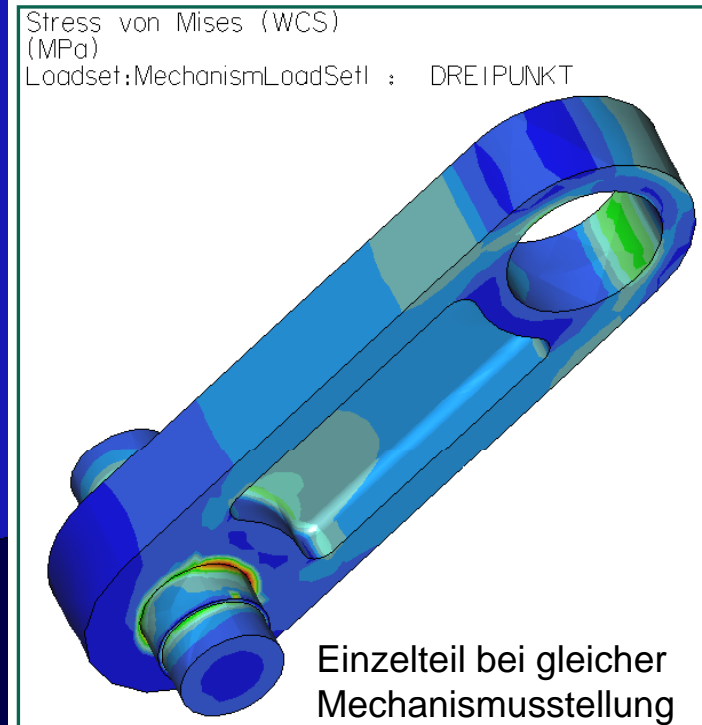
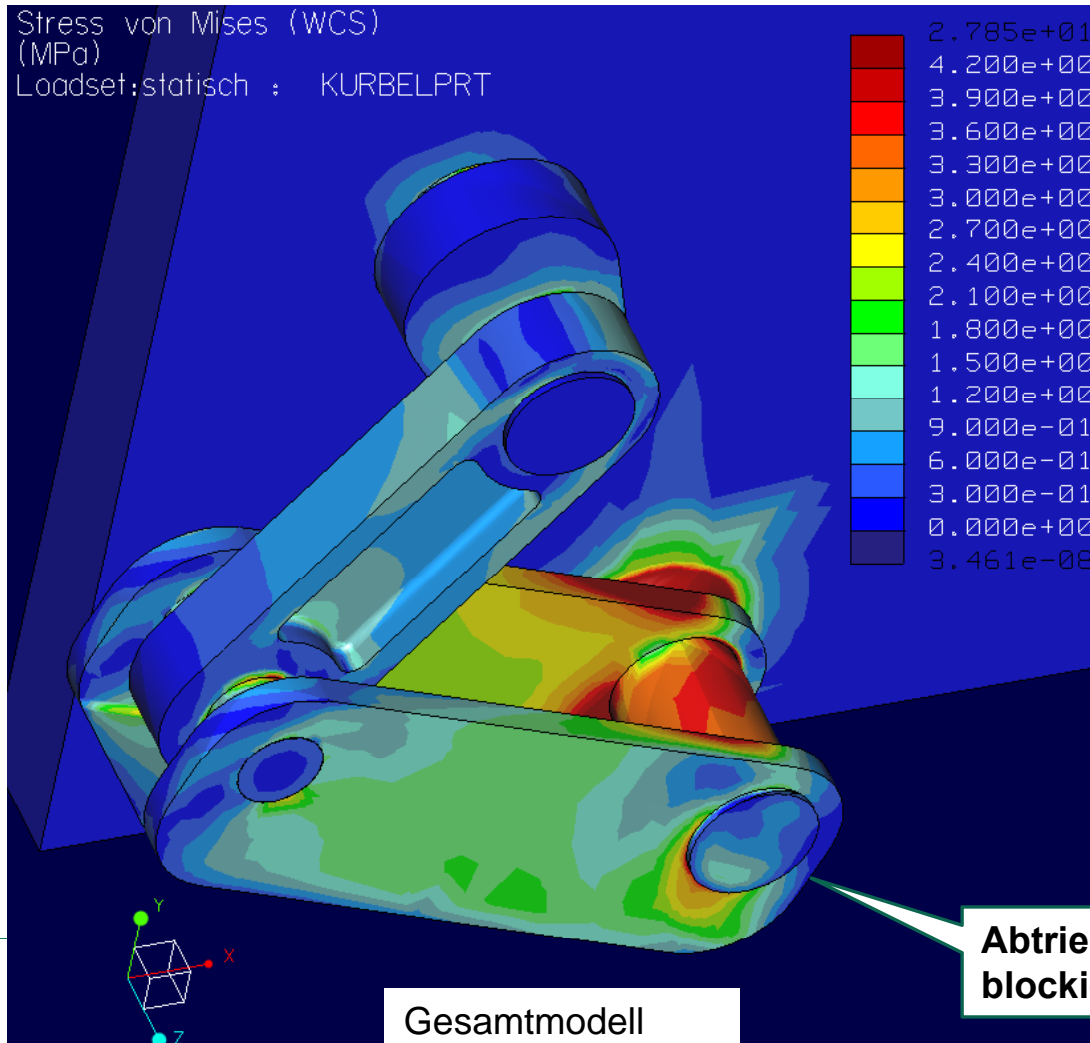
Modellstatus	
Anzahl der Massenelemente:	0
Anzahl der Federn:	4
Anzahl der Balkenelemente:	0
Anzahl der Schalelemente:	0
Anzahl der Volumenkörper:	2125
Anzahl der Verbindungen:	0
Anzahl der Kontakte:	0
Anzahl der starren Verbindung:	0
Anzahl der Steifigkeitskondensationen:	0
Anzahl der Punktnähte:	0
Anzahl der Verbindungselemente:	0
Anzahl gewichteter Verbindungen:	8
<button>Schließen</button>	

**MDO -  
Modell**

**Mechanica -  
Modell**

**Modellstatus**

## Quasistatische Analyse



### 3. Anwendertreffen SAXSIM

#### Zusammenfassung und Ausblick

- Ganzheitliche Getriebeauslegung mit Hilfe von Mathcad, Creo™ Elements/Pro™ und MOCAD.

Konkretisierung der Problemstellung beim Rundflechten und Ableiten von Bewegungsanforderungen an die Getriebestruktur.

Strukturauswahl und Synthese mit Motion-Skelett in Creo™ Elements/Pro™ und Mathcad.

- **MOCAD** – **MO**tion and **CAM**-Design ist ein universell einsetzbares Werkzeug zum Bewegungsdesign und zur Berechnung von Kurvengetrieben verschiedener Bauform.

MOCAD wird zur Bearbeitung von Forschungs- und Industrieprojekten eingesetzt mit Kooperationspartnern weiterentwickelt.

- Integrierte FEM-Analyse von Getriebestrukturen und Einzelteilen.

Test des neuen Mechanica Features „Gelenkverbindungen“.

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Dipl. Ing.  
**Daniel Denninger**

TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ  
Professur Montage- und Handhabungstechnik

Email: [daniel.denninger@mb.tu-chemnitz.de](mailto:daniel.denninger@mb.tu-chemnitz.de)

URL: <http://www.tu-chemnitz.de/mb/MHT>

Tel.: +49 (0) 371 531 38476